

TUGAS AKHIR
KS 1701

**STUDI TEKNIS GETARAN SISTEM INSTALASI
FEED WATER PUMP DI PT. PLN PJB2
GRESIK - SURABAYA**



RSSP
620.3
wid
S-1
2000

Oleh :

SLAMET WIDODO

NRP : 4294.100.038

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000**

Fakultas Teknologi Kelautan	
Jurusan Teknik Perkapalan	
Tgl.	29 / 9 / 2000
Materi	H

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI TEKNIS GETARAN SISTEM INSTALASI FEED WATER PUMP DI PT. PLN PJB2 GRESIK - SURABAYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing



17 / 1 / 2000

Ir. MOCH. ORIANTO, MSc.

NIP. 130.786.955

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI TEKNIS GETARAN SISTEM INSTALASI
FEED WATER PUMP DI PT. PLN PJB2
GRESIK - SURABAYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

Ketua Jurusan
Teknik Sistem Perkapalan
FTK - ITS



Dr. Ir. A.A. MASROERI, M.Eng.

NIP. 131.407.591

ABSTRAK

Dalam tugas akhir ini dibahas mengenai getaran yang ditimbulkan pompa Feed Water Pump (boiler feed pump) di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) PT PLN PJB 2 Gresik-Surabaya. Timbulnya getaran ini tentunya tidak mutlak disebabkan oleh pompa BFP sendiri, tetapi kemungkinan adanya faktor-faktor dari peralatan yang menyusun sistem instalasi pompa BFP turut mempengaruhinya. seperti motor penggerak pompa dan gear box yang menghubungkan sistem perporosan antara pompa dan motor penggeraknya. Oleh karena itu pengukuran getaran dilakukan pada komponen-komponen peralatan yang menyusun sistem instalasi pompa Boiler Feed Pump yang mana meliputi dari motor penggerak pompa, gear box dan pompa BFP sendiri.

Dengan menggunakan metode analisa frekuensi atau frekuensi domain data-data getaran yang diperoleh dianalisa untuk mengetahui apakah tingkat keparahan getaran yang ditimbulkan masih dalam batasan aman atau tidak. Dari sini ditentukan komponen peralatan mana yang paling kritis atau sering terjadi kerusakan. Kemudian dari data getaran peralatan tersebut dicari trend grafiknya. Dari trend grafik tersebut dapat ditentukan kapan peralatan tersebut mengalami kerusakan sekaligus sisa umur dari peralatan tersebut, sehingga dapat diprediksikan kapan peralatan tersebut harus dilakukan perawatan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Teknis Getaran Sistem Instalasi Feed Water Pump di PT. PLN PJB2 Gresik-Surabaya” ini , yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai piha. Dan pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. A.A. Masroeri, MEng, sebagai Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
2. Bapak Ir. Moch. Orianto, MSc sebagai dosen pembimbing dalam pengerjaan Tugas Akhir ini
3. Bapak Ir. Hari Prastowo MSc sebagai dosen wali penulis dan sekaligus sebagai koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
4. Mas Putut, Mas Giono, dan Solekan sebagai Staf Administrasi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS yang telah banyak membantu penulis selama menempuh studi di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
5. Bapak Ir. Adi Firmanto dan Bapak Ir. Teguh Wijayanto sebagai Koordinator Predictive Maintenance di Unit Bisnis dan Pemeliharaan PT PLN PJB2 yang telah membantu memberikan bimbingan dan saran-saran bagi penulis.

6. Mas Basuki, Mas Kholik dan Pak Rozi yang telah membantu dalam penggalan data-data yang penulis butuhkan di PT PLN PJB2.
7. Bapak dan Ibu tercinta yang telah membiayai penulis selama studi di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS dan atas doa, dorongan serta semangat yang selalu diberikan kepada penulis.
8. Kakak dan adik-adikku tersayang yang selalu memberikan doa dan semangat keberhasilan penulis.
9. Teman-teman yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan keterbatasan yang ada pada diri penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan adanya saran-saran dan kritik dari pembaca untuk kesempurnaan tugas-tugas selanjutnya.

Akhirnya dengan segala kerendahan hati, penulis berharap, Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Terima Kasih

Surabaya, Pebruari 2000

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Umum	I-1
1.2. Latar Belakang	I-1
1.3. Perumusan Masalah	I-2
1.4. Batasan Masalah	I-3
1.5. Metode Penulisan	I-3
1.6. Tujuan Penulisan	I-4
BAB II DASAR-DASAR GETARAN	
2.1. Karakteristik Getaran	II-2
2.1.1. Frekuensi Getaran (VibrationFrequency)	II-3
2.1.2. Vibration Displacement (Peak to Peak)	II-5
2.1.3. Vibration Velocity (Peak)	II-5
2.1.4. Vibration Phase	II-7

2.1.5. Vibration Spike Energy	II-9
2.2. Karakteristik-Karakteristik Lain	II-10
2.2.1. Getaran Paksa (Force Vibration)	II-10
2.2.2. Getaran Bebas (Free Vibration)	II-11
2.2.3. Frekuensi Penggerak (Driving Frequency)	II-11
2.2.4. Frekuensi Natural (Natural Frequency)	II-11
2.2.5. Frekuensi Resonansi (Resonant Frequency)	II-11
2.2.6. Putaran Kritis (Critical Speed)	II-11
2.3. Unit Pengukuran : Peak to Peak, Peak, RMS, Average	II-12

BAB III ANALISA GETARAN

3.1. Instrumen Pengukur Getaran	III-1
3.1.1. Vibration Meter	III-1
3.1.2. Vibration Monitor	III-2
3.1.3. Vibration Analyzer	III-2
3.2. Transducer	III-2
3.2.1. Proximity Transducer (Non Contact)	III-3
3.2.2. Velocity Transducer	III-6
3.2.3. Acceleration Transducer (Accelerometer)	III-8
3.2.4. Stroboscope dan Keyphasor	III-12
3.3. Pemilihan Transduser	III-12
3.4. Metode Analisa Getaran	III-16
3.4.1. Metode Frekuensi Domain	III-17
3.4.2. Metode Phasa Analisis	III-20

3.5. Karakteristik Getaran Mesin	III-23
3.5.1. Unbalance	III-24
3.5.2. Misalignment	III-26
3.5.3. Kerusakan Gigi	III-29
3.5.4. Bantalan Gelinding (Ball Bearing)	III-30
3.5.5. Kerenggangan Mekanis (Looseness)	III-32
3.5.6. Vibrasi Karena Listrik	III-33
3.5.7. Vibrasi Karena Gaya Aerodinamik	III-34
3.5.8. Vibrasi Karena Gaya Hidrolik	III-35
3.5.9. Vibrasi Karena Resonansi	III-36
3.5.10. Getaran Karena Minyak Pelumas (Oil Whirl)	III-38
3.5.11. Getaran Karena Gesekan (Rubbing)	III-40
3.5.12. Vibrasi Karena Menambahkan (Beat)	III-40
3.6. Severity Chart	III-41

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Motor Penggerak Pompa	IV-1
4.1.1. Sisi Out Board Motor	IV-1
4.1.2. Sisi In Board Motor	IV-4
4.2. Pompa BFP	IV-5
4.2.1. Sisi Out Board Pompa	IV-6
4.2.2. Sisi In Board Pompa	IV-8
4.3. Gear Box	IV-10
4.3.1. Gear Box Titik 1	IV-10

4.3.2. Gear Box Titik 2	IV-12
4.3.3. Gear Box Titik 3	IV-14
4.3.4. Gear Box Titik 4	IV-15
4.4. Penentuan Komponen Peralatan Pada Sistem Instalasi Boiler Feed Pump Yang Paling Kritis	IV-17
4.5. Prediksi Waktu Atau Umur Peralatan	IV-17

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	V-1
5.2. Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Aplikasi Transduser	III-13
Tabel 3.2. Vibration Identification Chart (Vibration Frequency)	III-20
Tabel 3.3. Vibration Identification Chart (Amplitude, Frequency, Phase)	III-23

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Getaran Sederhana dari Sistem Pegas Masa	II-1
Gambar 2.2. Pergerakan Masa yang Digambarkan Terhadap Waktu	II-3
Gambar 2.3. Periode Getaran	II-4
Gambar 2.4. Perubahan Suatu Kecepatan dari Suatu Obyek Penggetar	II-6
Gambar 2.5. Perubahan Percepatan Terhadap Kecepatan	II-6
Gambar 2.6. Getaran Berbeda Phase 180°	II-8
Gambar 2.7. Getaran Berbeda Phase 90°	II-8
Gambar 2.8. Getaran Sephase	II-9
Gambar 2.9. Record Pengukuran Spike Energy	II-10
Gambar 2.10. Unit Pengukuran	II-13
Gambar 3.1. Proximity Transducer	III-3
Gambar 3.2. Diagram Skematik Instalasi Proximity Transducer	III-4
Gambar 3.3. Konstruksi Velocity Transducer	III-7
Gambar 3.4. Respon Frekuensi Velocity Transducer	III-7
Gambar 3.5. Konstruksi Transduser Percepatan	III-9
Gambar 3.6. Respon Frekuensi Accelerometer	III-9
Gambar 3.7. Pengkondisian Sinyal Accelerometer	III-10
Gambar 3.8. ICP Accelerometer	III-11
Gambar 3.9. Lokasi Transduser Yang Direferensikan Pada Tabel 3.1.	III-13
Gambar 3.10. Vibration Nomograph	III-15

Gambar 3.11. Kombinasi Beberapa Sumber Getar	III-17
Gambar 3.12. Penguraian Vibrasi Time Domain Ke Frekuensi Domain	III-18
Gambar 3.13. Gaya Dan Displacement Rotor Unbalance	III-21
Gambar 3.14. Spektrum Getaran Unbalance Pada Sebuah Motor Yang Menggerakkan Fan	III-25
Gambar 3.15. Sleeve Bearing	III-27
Gambar 3.16. Rolling Element Bearing	III-28
Gambar 3.17. Frekuensi Gear Mesh	III-29
Gambar 3.18. Bearing Characteristic Frequencies	III-31
Gambar 3.19. Karakteristik Vibrasi Hidrolik	III-36
Gambar 3.20. Vibrasi Resonansi	III-37
Gambar 3.21. Mekanisme Oil Whirl	III-38
Gambar 4.1. Pengukuran Motor Pada Sisi Out Board	IV-1
Gambar 4.2. Pengukuran Motor Pada Sisi In Board	IV-4
Gambar 4.3. Pengukuran Pompa Pada Sisi Out Board	IV-6
Gambar 4.4. Pengukuran Pompa Pada Sisi In Board	IV-8
Gambar 4.5. Pengukuran Gear Box	IV-10

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A

Daftar Tabel

Tabel 4.1.1. Pengukuran Motor Out Board Horisontal (MOH)

Tabel 4.1.2. Pengukuran Motor Out Board Vertikal (MOV)

Tabel 4.1.3. Pengukuran Motor Out Board Aksial (MOA)

Tabel 4.1.4. Pengukuran Motor In Board Horisontal (MIH)

Tabel 4.1.5. Pengukuran Motor In Board Vertikal (MIV)

Tabel 4.2.1. Pengukuran Pompa Out Board Horisontal (POH)

Tabel 4.2.2. Pengukuran Pompa Out Board Vertikal (POV)

Tabel 4.2.3. Pengukuran Pompa Out Board Aksial (POA)

Tabel 4.2.4. Pengukuran Pompa In Board Horisontal (PIH)

Tabel 4.2.5. Pengukuran Pompa In Board Vertikal (PIV)

Tabel 4.3.1. Pengukuran Gear Box Titik 1 Horisontal (G1H)

Tabel 4.3.2. Pengukuran Gear Box Titik 1 Vertikal (G1V)

Tabel 4.3.3. Pengukuran Gear Box Titik 2 Horisontal (G2H)

Tabel 4.3.4. Pengukuran Gear Box Titik 2 Vertikal (G2V)

Tabel 4.3.5. Pengukuran Gear Box Titik 2 Aksial (G2A)

Tabel 4.3.6. Pengukuran Gear Box Titik 3 Horisontal (G3H)

Tabel 4.3.7. Pengukuran Gear Box Titik 3 Vertikal (G3V)

Tabel 4.3.8. Pengukuran Gear Box Titik 4 Horisontal (G4H)

Tabel 4.3.9. Pengukuran Gear Box Titik 4 Vertikal (G4V)

Tabel 4.3.10. Pengukuran Gear Box Titik 4 Aksial (G4A)

Unit Pengukuran

Daftar Grafik

Pengukuran Motor Out Board

Pengukuran Motor In Board

Pengukuran Pompa Out Board

Pengukuran Pompa In Board

Pengukuran Gear Box Titik 1

Pengukuran Gear Box Titik 2

Pengukuran Gear Box Titik 3

Pengukuran Gear Box Titik 4

Severity Chart

Lampiran B

Data-Data Pengukuran Getaran

Lampiran C

Data-Data Spesifikasi Peralatan

BAB I

PENDAHULUAN



1.1. Umum

Sejak mulai pertengahan tahun 1950-an ide untuk mengontrol kondisi mesin yang dihubungkan dengan tingkat getaran yang ditimbulkannya sudah berkembang. teknik pengontrolan ini disebut dengan "Mechanalysis". Dengan mechanalysis kondisi mesin selama mesin beroperasi dapat ditentukan.

Setiap mesin secara alamiah akan bergetar. Mesin yang berada pada kondisi terbaiknya akan memiliki beberapa getaran sebagai akibat dari cacat minor yang dihasilkan saat proses pembuatan. Getaran ini masih ditoleransi dan sering dinyatakan bahwa tingkat getaran mesin tersebut normal atau inherent (sudah menjadi sifatnya). Sebuah program mechanalysis yang baik memungkinkan untuk mendeteksi problem atau masalah pada mesin yang akan datang sebelum kerusakan yang sebenarnya terjadi.

1.2. Latar Belakang

Dalam sebuah steam power plant, salah satu komponen peralatan yang mempunyai peranan sangat penting adalah feed water pump atau sering disebut dengan boiler feed pump (BFP). Pompa ini rata-rata beroperasi dalam tekanan

dan putaran kerja yang tinggi. Sehingga jenis pompa yang digunakan biasanya adalah jenis pompa centrifugal multi stage.

Dilihat dari tekanan dan putaran kerja pompa BFP yang cukup tinggi maka kecenderungan timbulnya getaran adalah merupakan masalah yang tidak dapat dihindari. Getaran yang ditimbulkan ini tentunya tidak hanya disebabkan oleh pompa BFP saja, tetapi ada kemungkinan ditimbulkan oleh komponen-komponen peralatan yang lain dari sistem instalasi pompa BFP seperti motor penggerak pompa BFP ataupun gear box yang menghubungkan sistem perporosan antara motor penggerak dan pompa BFP. Timbulnya getaran ini tentunya tidak dapat dihindari akan tetapi sebab dan akibat yang ditimbulkannya dapat dikurangi.

1.3. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah mengenai timbulnya getaran yang berlebihan pada pompa BFP di sistem instalasi boiler feed pump unit 3B PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) PT. PLN PJB2 Gresik-Surabaya.

Akibat dari getaran ini efisiensi dan daya dari pompa BFP terjadi penurunan sehingga operasi sistem secara keseluruhan juga menjadi terganggu. Pada keadaan normal untuk beban 200 MW cukup dilayani satu pompa BFP, tetapi karena getaran tersebut maka dua pompa BFP harus dioperasikan.

1.4. Batasan Masalah

Permasalahan dalam tugas akhir ini dibatasi hanya untuk menganalisa getaran yang ditimbulkan pada :

1. Motor penggerak pompa BFP.
2. Gear box yang menghubungkan sistem perporosan antara motor penggerak pompa dan pompa BFP.
3. Pompa BFP.
4. Tidak menganalisa dan mengidentifikasi penyebab atau jenis kerusakan yang terjadi pada komponen-komponen peralatan yang menyusun sistem instalasi boiler feed pump melalui efek getaran yang ditimbulkan.

1.5. Metode Penulisan

Metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur.

Penggalian data-data dan teori pendukung yang diperlukan dilakukan melalui literatur-literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini.

2. Survei lapangan.

Pengambilan data-data yang diperlukan dilakukan dengan melakukan survei atau pengamatan secara langsung di PT. PLN PJB2 Gresik.

1.6. Tujuan Penulisan

Tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

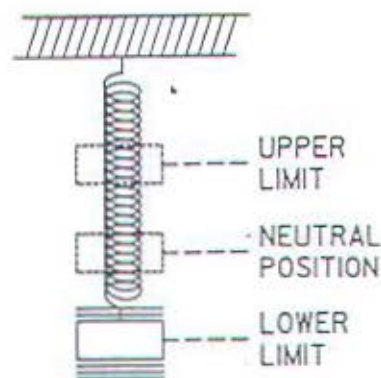
1. Menentukan tingkat keparahan getaran yang ditimbulkan oleh masing-masing komponen peralatan dalam sistem instalasi boiler feed pump apakah masih dalam batasan kondisi yang diijinkan atau tidak.
2. Menentukan komponen-komponen peralatan dalam sistem instalasi boiler feed pump tersebut mana yang paling kritis atau sering terjadi kerusakan.
3. Memprediksi umur komponen peralatan yang kritis tersebut untuk merencanakan waktu perawatan atau perbaikan sebelum peralatan tersebut mengalami kerusakan.

BAB II

DASAR-DASAR GETARAN

Getaran adalah respon sebuah sistem terhadap eksitasi (stimulus) eksternal atau internal atau dengan kata lain response dari sebuah sistem terhadap gaya yang dikenakan terhadap sistem tersebut. Gambaran yang lebih sederhana diperlihatkan gambar 2.1. Dimana sebuah masa digantung dengan sebuah pegas (spring) yang salah satu sisi pegas tersebut terpasang di dinding.

Jika sebuah gaya keatas dikenakan pada masa tersebut, maka masa akan menekan pegas. Apabila gaya tersebut dihilangkan, masa akan bergerak ke bawah melewati titik netral dan akan sampai pada batas titik terbawah dimana gaya pegas akan menahannya. Masa tersebut akan kembali bergerak ke atas melewati titik netral sampai dengan batas titik teratas. Gerakan ini akan berulang dalam pola yang sama seperti gaya yang dikenakan kembali pada masa saat pertama kali.



Gambar 2.1.
Getaran sederhana dari sistem pegas-masa

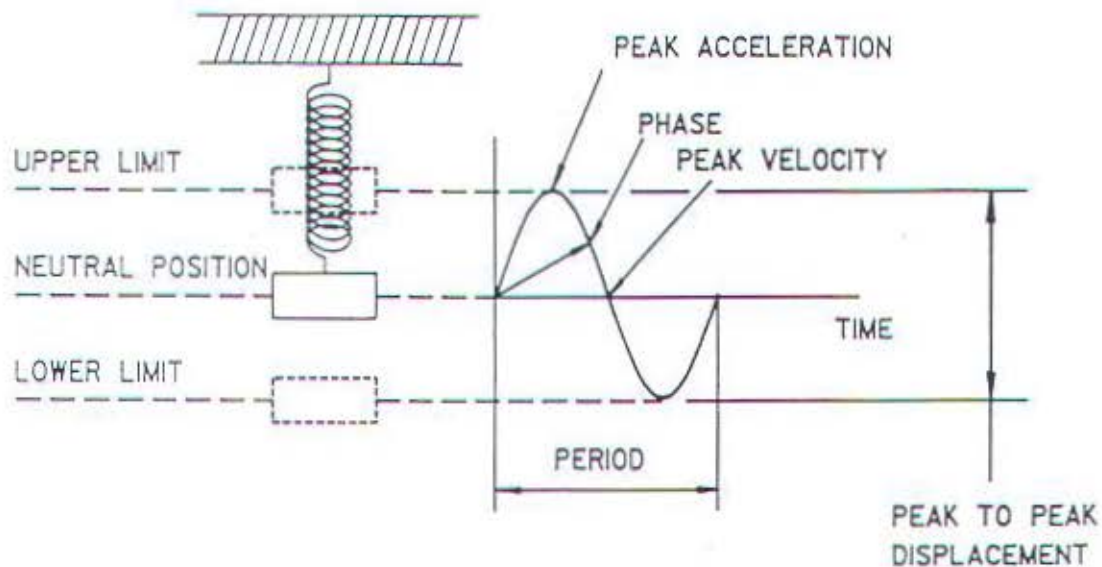
2.1. Karakteristik Getaran

Penyebab getaran tanpa memperhatikan jenisnya adalah merupakan perubahan gaya dalam arah dan besarnya yang akan menghasilkan karakteristik dan menentukan pola dari gaya-gaya yang dibangkitkan. Hal ini yang menyebabkan mengapa setiap penyebab dari getaran memiliki karakteristik sendiri-sendiri

Kondisi sebuah mesin dan masalah-masalah mekanik ditentukan dengan mengukur karakteristik-karakteristik gatarannya. Karakteristik getaran yang penting meliputi :

- ♦ Frekuensi
- ♦ Displacement.
- ♦ Kecepatan
- ♦ Percepatan
- ♦ Phase.
- ♦ Spike Energy.

Dengan mengacu kembali pada masa yang digantung sebuah pegas, dapat dipelajari secara detail karakteristik-karakteristik getaran dengan menggambarkan pergerakan masa tersebut terhadap waktu. Gambar 2.2.



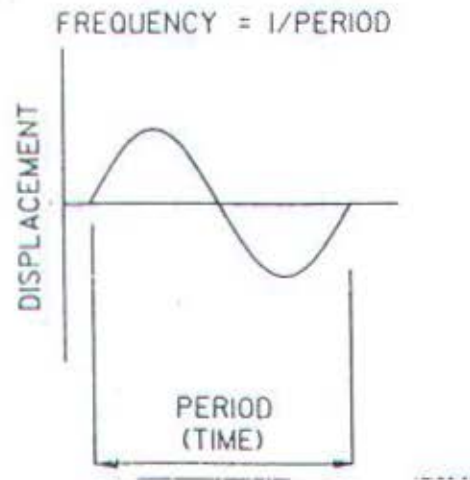
Gambar 2.2.

Pergerakan masa yang digambarkan terhadap waktu

Gerakan masa dari posisi netral ke batas titik teratas kembali melewati titik netral ke batas titik terbawah dan kembali lagi ke posisi netral disebut sebagai 1 putaran gerakan (Gambar 2.2).

2.1.1. Frekuensi Getaran (Vibration Frequency)

Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan 1 putaran penuh dari sebuah pola getaran disebut dengan periode getaran. Gambar 2.3



Gambar 2.3. Periode Getaran

Jika sebuah mesin dalam waktu 1/60 detik terjadi getaran 1 putaran penuh, maka dapat dikatakan bahwa periode getaran mesin tersebut adalah 1/60 detik

Frekuensi getaran adalah banyaknya putaran yang terjadi dalam sebuah periode waktu. Hubungan antara frekuensi dan periode jika dirumuskan adalah sebagai berikut :

$$\text{Frekuensi} = 1/\text{periode.}$$

Frekuensi getaran umumnya diekspresikan sebagai jumlah putaran yang terjadi tiap menit atau cycles per minute (cpm). Frekuensi getaran dalam bentuk CPM ini mudah untuk menghubungkannya ke spesifikasi penting lainnya seperti putaran mesin-RPM (Revolution per minute). Jika sebuah mesin memiliki putaran 3600 RPM maka dapat diprediksi macam-macam masalah yang menimbulkan getaran pada frekuensi 3600 CPM.

Frekuensi ada juga yang dinyatakan sebagai jumlah putaran tiap detik atau Hertz (Hz). Satu hertz = 60 CPM, untuk mengkonversi frekuensi dalam satuan hertz ke CPM atau sebaliknya dapat digunakan rumus :

$$\text{CPM} = \text{Hertz} \times 60$$

$$\text{Hertz} = \text{CPM} / 60$$

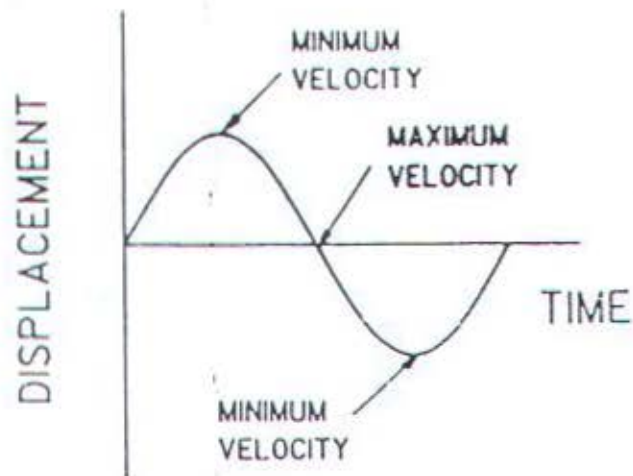
2.1.2. Vibration Displacement (Peak to Peak)

Total jarak yang ditempuh oleh bagian penggetar dalam pergerakannya dari satu titik batas ekstrim ke titik batas ekstrim yang lain dinyatakan sebagai "peak to peak displacement". Peak to peak displacement vibration biasanya diekspresikan dalam satuan mils dimana 1 mils = 0,001 inch. Dalam unit metric dinyatakan dalam micrometer, dimana 1 micrometer = 0,001 millimeter.

2.1.3. Vibration Velocity (peak).

Dalam pergerakannya menempuh satu kali putaran penuh, suatu berat penggetar mengalami beberapa kecepatan. Kecepatan ini berubah secara konstan. Gambar 2.4 diperlihatkan, saat berada di batas titik teratas dari pergerakannya kecepatannya adalah nol, ini berarti berat penggetar berhenti sebelum berat penggetar tersebut bergerak ke arah yang sebaliknya.

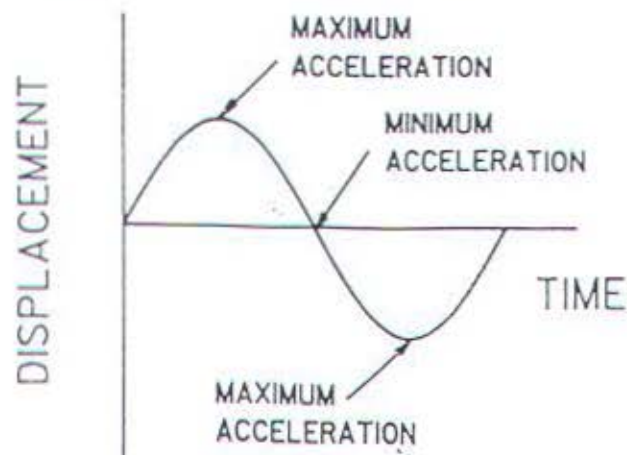
Karena kecepatan berubah secara konstan maka dalam pengukurannya dipilih harga tertinggi dari "peak" velocity-nya. Kecepatan getaran dinyatakan dalam bentuk inches per second peak dalam units English dan dalam units metric dalam millimeter per second peak.



Gambar 2.4.

Perubahan Kecepatan dari Suatu Obyek Penggetar

Saat berat penggetar berhenti pada batas titik ekstrim dalam pergerakannya, untuk bergerak ke arah titik ekstrim yang sebaliknya berat penggetar mengalami percepatan. Secara teknik, percepatan adalah perubahan rata-rata dari kecepatan.



Gambar 2.5

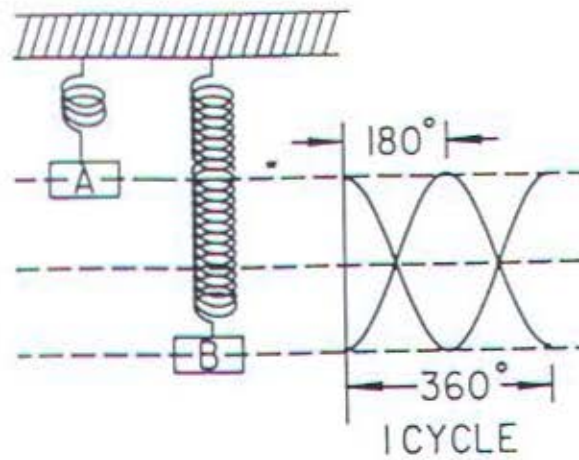
Perubahan Percepatan Terhadap Kecepatan

Pada gambar 2.5 ditunjukkan, percepatan mencapai maksimum saat kecepatan nol. Saat kecepatan bertambah, percepatan mengalami penurunan. Pada saat posisi netral kecepatan mencapai maksimum dan percepatannya adalah nol. Percepatan maksimum dicapai saat kecepatan mencapai titik minimum.

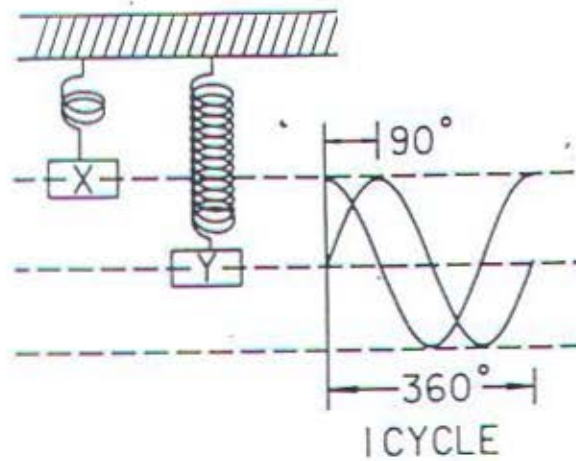
2.1.4. Vibration Phase

Karakteristik penting yang lain dari getaran adalah “phase”. Phase didefinisikan sebagai “...posisi penggetar pada suatu saat tertentu dengan mengacu pada suatu titik tetap (fixed point) atau bagian penggetar lainnya.

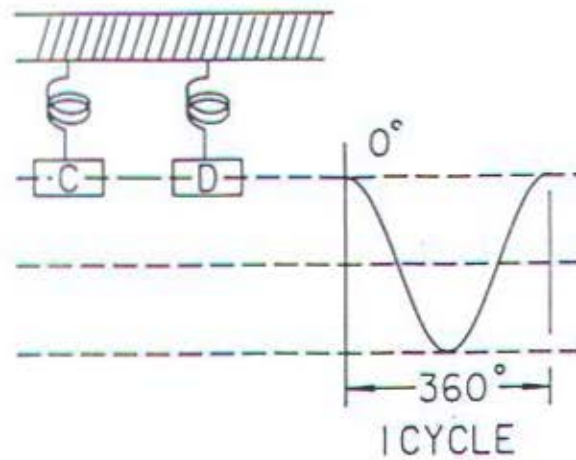
Dalam praktisnya pengukuran phase digunakan untuk membandingkan suatu getaran dengan getaran yang lain atau untuk menentukan suatu berat penggetar yang bergetar relatif terhadap berat penggetar yang lain. Gambar 2.6 menunjukkan 2 buah masa yang bergetar pada frekuensi dan displacement yang sama. Masa A berada pada batas teratas dari pergerakannya. Pada saat yang sama benda B berada pada batas terbawah. Dengan menggambarkan satu putaran penuh gerakan dari 2 masa ini dapat dilihat bahwa titik “peak displacement” terpisah 180° (satu putaran penuh = 360°). Dapat dikatakan bahwa 2 masa bergetar tersebut berbeda phase 180° . Gambar 2.7 dan gambar 2.8 menggambarkan 2 masa bergetar berbeda phase 90° dan se-phase.



Gambar 2.6
Getaran Berbeda phase 180°



Gambar 2.7
Getaran Berbeda Phase 90°



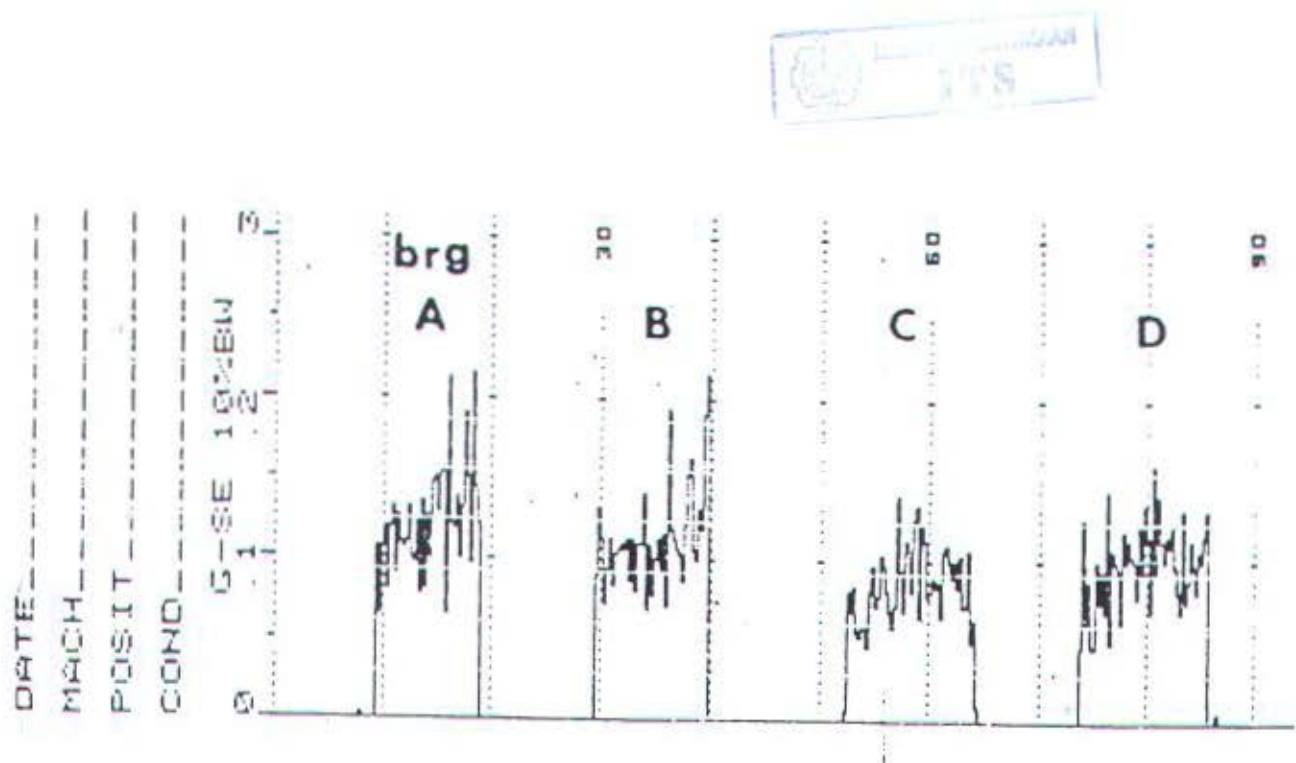
Gambar 2.8. Getaran Se-phase

2.1.5. Vibration Spike Energy.

Spike energy diukur dalam durasi yang sangat pendek dan frekuensi tinggi. Spike adalah seperti pulsa dari energi getaran yang terjadi dalam permesinan akibat dari :

- Cacat permukaan pada bagian-bagian berputar dari bantalan-bantalan atau roda gigi.
- Gesekan, tumbukan akibat adanya kontak metal dengan metal dalam perputaran mesin.
- Uap tekanan tinggi atau kebocoran udara.
- Kavitasi akibat dari aliran turbulence dalam fluida.

Record pengukuran spike energy ditunjukkan dalam gambar 2.9.



Gambar 2.9
Record Pengukuran Spike Energy

Dengan pengukuran spike energy, getaran frekuensi tinggi yang terjadi pada bantalan dan roda gigi dapat dideteksi secara dini. Spike energy dinyatakan dalam units "g.SE".

2.2. Karakteristik-Karakteristik Lain.

Karakteristik-karakteristik lain yang dapat membantu memahami getaran permesinan antara lain adalah :

2.2.1. Getaran Paksa (Force Vibration).

Getaran yang disebabkan oleh gaya getar, seperti terjadinya unbalance yang mengakibatkan mesin bergetar pada frekuensi gaya getarnya.

2.2.2. Getaran Bebas (Free Vibration)

Getaran yang terjadi pada suatu mesin atau struktur tanpa adanya gaya eksternal atau force vibration yang mempengaruhi timbulnya getaran tersebut..

2.2.3. Frekuensi Penggerak (Driving Frequency)

Frekuensi adalah frekuensi dari getaran paksa.

2.2.4. Frekuensi Natural (Natural Frequency)

Frekuensi dimana mesin atau struktur akan mulai bergetar ketika melalui getaran bebas. Pada frekuensi ini mesin cenderung untuk bergetar. Contoh sederhananya adalah sebuah bel yang dipukul akan bergetar pada frekuensi design-nya.

Pada umumnya mesin atau struktur memiliki beberapa frekuensi natural. Gaya kejut (sebagai contoh struktur yang dipukul dengan palu) dapat membangkitkan satu atau lebih frekuensi ini sehingga akan ikut bergetar.

2.2.5. Frekuensi Resonansi (Resonant Frequency)

Frekuensi yang terjadi pada saat frekuensi natural dan frekuensi penggerak (driving frequency) sama. Biasanya getaran yang timbul menjadi lebih besar pada saat frekuensi penggerak mendekati frekuensi natural, dan mencapai maksimum ketika kedua frekuensi tersebut tepat sama.

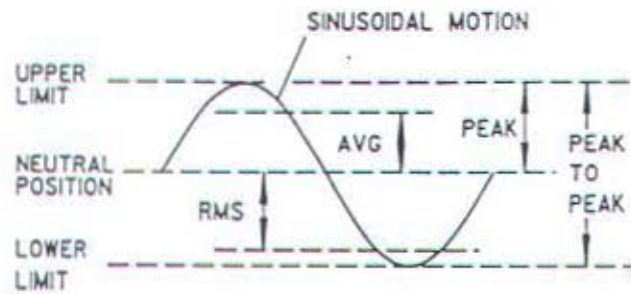
2.2.6. Putaran Kritis (Critical Speed)

Putaran mesin (RPM) pada saat kondisi frekuensi resonansi terjadi.

2.3. Units Pengukuran : Peak to Peak, Peak, RMS, Average

Gambar 2.10 memperlihatkan hubungan antara beberapa units. Bentuk gelombang adalah sinusoidal. Nilai peak to peak menunjukkan penyimpangan maksimum antara batas teratas dan batas terbawah dari pergerakan gelombang. Displacement vibration dinyatakan dalam mils peak to peak. Sedangkan nilai peak dinyatakan sebagai $\frac{1}{2}$ dari harga peak to peak.

Karakteristik getaran mesin lainya yang digunakan adalah RMS (Root Mean Square). Bentuk ini sering digunakan bila terjadi getaran acak (random) atau sejumlah getaran sinusoidal yang berbeda frekuensinya. Nilai RMS adalah ukuran dari energi efektif yang menghasilkan getaran mesin . Untuk gerakan sinusoidal nilai RMS adalah $0,707 \times \text{Peak}$. Nilai rata-rata (average) dari sinusoidal waveform dinyatakan $0,637 \times \text{Peak}$.



<div> <div>TO OBTAIN ↓</div> <div>BY</div> <div>MULTIPLY NUMBER OF ---</div> </div>	PEAK- TO- PEAK	PEAK	RMS	AVERAGE
PEAK-TO-PEAK	1.000	2.000	2.828	3.442
PEAK	.500	1.000	1.414	1.571
RMS	.354	.707	1.000	1.118
AVERAGE	.318	.636	.900	1.000

Gambar 2.10
Unit Pengukuran

BAB III

ANALISA GETARAN

Analisa getaran bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab getaran yang bekerja pada mesin. Oleh karena itu kemampuan analisa, pengalaman, pengetahuan merupakan hal yang sangat penting untuk menunjang peralatan ukur vibrasi guna memecahkan masalah vibrasi dengan hasil yang tepat dan benar

Peralatan-peralatan pengukur getaran yang umum dipergunakan adalah sebagai berikut :

3.1. Instrumen pengukur getaran.

Instrumen pengukur getaran adalah merupakan peralat utama pengukur getaran. Alat ini merupakan otak pengolah data sekaligus memberikan data yang diinginkan (velocity, displacement, acceleraation, frequency, dan sudut fase).

Instrumen pengukur vibrasi ini dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

3.1.1. Vibration meter.

Adalah alat pengukur getaran yang kecil sederhana dan mudah dibawa. Berguna untuk pengukuran vibrasi secara rutin . Data yang diukur terbatas pada displacement, velocity dan acceleration secara overall (filter out).

3.1.2. Vibration monitor.

Merupakan alat pengukur getaran secara kontinu, serta dapat memberikan tanda (alarm) jika batas vibrasi sudah mencapai maksimal. Adakalanya alat ini dirancang dapat mematikan mesin secara otomatis jika batas getaran sudah mencapai pada batas bahaya. Alat ini terpasang secara permanen dikontrol panel (control room).

3.1.3. Vibration Analyzer.

Adalah alat pengukur getaran yang bertujuan untuk mencari penyebab kerusakan atau kelainan mesin karena vibrasi. Umumnya alat ini juga dapat digunakan untuk balancing dinamik.

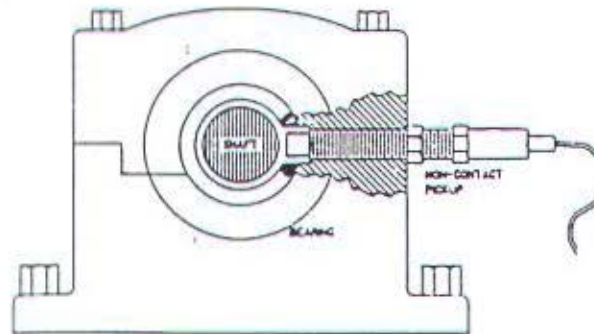
3.2. Transducer.

Transducer adalah salah satu unsur peralatan pengukur getaran. Alat ini diletakkan pada mesin yang hendak diukur getarannya, dan dihubungkan langsung atau dengan menggunakan kabel ke instrumen pengukur vibrasi. Jadi transducer merupakan sensor penerima vibrasi.

Sesuai dengan parameter-parameter getaran, yaitu displacement, velocity dan acceleration maka transducer juga dibagi menjadi 3 sesuai dengan parameter tersebut yaitu :

3.2.1. Proximity transducer (non contact).

Tranduser perpindahan tanpa kontak (proximity probe) seperti terlihat pada gambar 3.1 digunakan untuk mengukur gerak relatif poros pada terhadap rumah bantalan secara langsung.

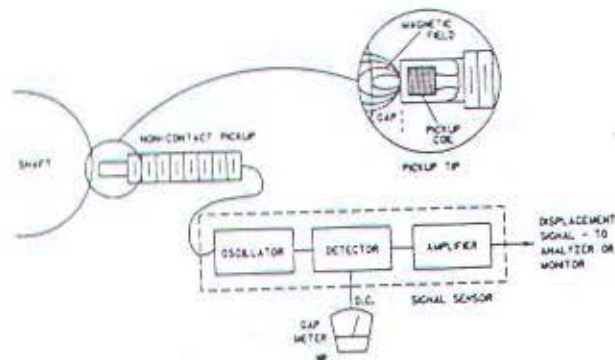


Gambar 3.1
Proximity transducer

Alat ini tidak dapat digunakan untuk analisa vibrasi (mencari frekuensi sumber-sumber vibrasi), melainkan hanya mengukur tingkat besarnya vibrasi yang dalam hal ini adalah clearance gerakan poros terhadap bearing atau displacement.

Tranduser ini bekerja beredasarkan arus eddy (pada poros dengan perantaraan ujung sensor) yang dibangkitkan oleh osilator frekuensi tinggi. Bila

poros bergerak relatif terhadap ujung sensor, maka energi arus eddy akan berubah memberikan modulasi ke tegangan osilator. Dengan demodulasi, sinyal ini memberikan sinyal keluaran yang sebanding dengan perpindahan poros, gambar 3.2. dibawah ini.



Gambar 3.2.

Diagram skematik instalasi proximity transducer

Pengukurannya dilakukan langsung ke poros dengan menempatkan bagian ujung alat tersebut pada jarak yang sangat dekat dengan permukaan poros yang sedang berputar. Proximity transducer dipasang pada sisi bagian muka atau bekakang rumah bearing, atau dengan cara melubangi rumah bearing hingga tembus ke poros agar transducer ini bisa mendekati permukaan poros.

Karakteristik proximity transducer :

- ♦ Transduser ini mengukur perpindahan relatif antara poros dengan rumah bantalan. Jadi getaran suatu poros kaku yang ditipu pada bantalan kaku (misalnya ball bearing) akan sulit diukur dengan transduser ini.
- ♦ Pengkondisian sinyal sudah termasuk dalam instrumentasi elektronik. Keluaran yang umum adalah 200 mV/mil atau 8 mV/micron (1 mil = 0,001 in, 1 micron = 0,001 mm)
- ♦ Goresan pada permukaan poros, ketidakbulatan poros dan variasi konduktivitas listriknya menimbulkan kesalahan pengukuran. Treatment pada permukaan dan kompensasi terhadap ketidak bulatan dapat dipakai untuk mengatasi persoalan ini.
- ♦ Kadang-kadang pemasangannya sukar dan seringkali memerlukan pengeboran lubang pada struktur mesin.
- ♦ Tegangan listrik keluaran transduser ini mengandung offset listrik arus searah sebesar 10 volt, yang memerlukan kopling AC untuk pengukuran yang sensitif. Kopling AC merupakan kemampuan Dynamic Signal Analyzer, yang dilakukan dengan suatu kapasitor masukan (input capacitor) untuk memblokir arus searah. Namun dengan kopling AC terjadi penurunan tanggapan instrumen di daerah pengukuran di bawah 1 Hz (60 RPM)

Proximity transducer non kontak pada dasarnya dipakai untuk semua mesin rotasi, karena mesin-mesin ini mempunyai rotor / bantalan yang fleksibel dan rumah yang berat sehingga getaran yang terjadi pada rumah tidak mewakili getaran pada rotor. Transduser ini juga sering dipakai untuk pengukuran RPM

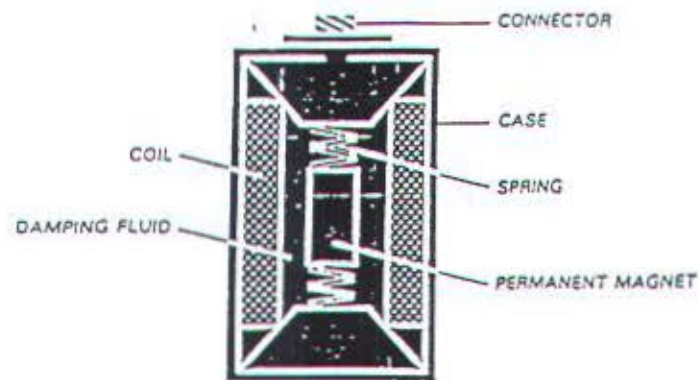
(tachometer signal), yaitu dengan memanfaatkan alur pasak pada poros yang akan dideteksi oleh transduser setiap kali melewatinya.



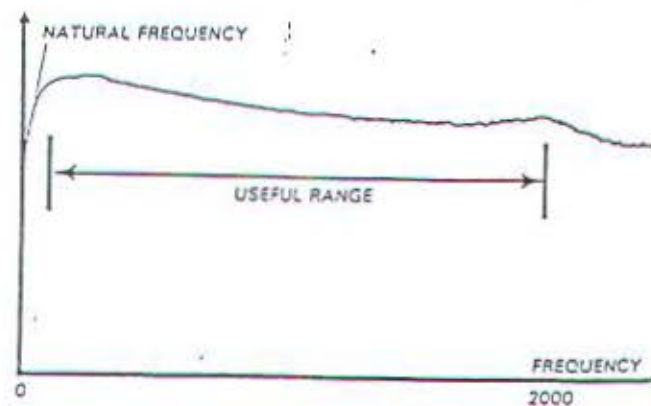
3.2.2. Velocity transducer.

Transduser yang pertama kali dipakai dalam pengukuran getaran adalah transduser kecepatan. Hampir semua pengukuran getaran dimasa lalu menggunakannya. Alat ini bekerja secara elektromekanik. Dapat digunakan untuk mengukur velocity overall (filter out) dan velocity pada masing-masing frekuensi sumber getaran (filter in), dengan hasil yang didapat adalah bersifat absolut. Selain velocity transduser ini juga dapat digunakan untuk mengukur displacement, yang pemasangannya dapat diletakkan pada rumah bantalan dengan menggunakan magnet, sekrup, tang jepit atau dipegang dengan tangan.

Gambar 3.3 menunjukkan konstruksi transduser jenis ini. Kumputan getar akan bergerak dalam medan magnet bila transduser bergetar, sehingga timbul tegangan yang cukup besar sebanding dengan kecepatan getaran. Dalam hal ini pengkondisian sinyal tidak diperlukan. Seperti terlihat dalam gambar 3.4, transduser ini mempunyai pegas dan masa yang dirancang sehingga mempunyai frekuensi pribadi 8-10 Hz (600 RPM).



Gambar 3.3.
Konstruksi velocity transducer



Gambar 3.4.
Respon frekuensi velocity transducer

Frekuensi pribadi ini sebagai batas bawah dari daerah kerja transduser. Batas atasnya sebesar 1000-2000 Hz tergantung dari inersia masa-pegas- damper.

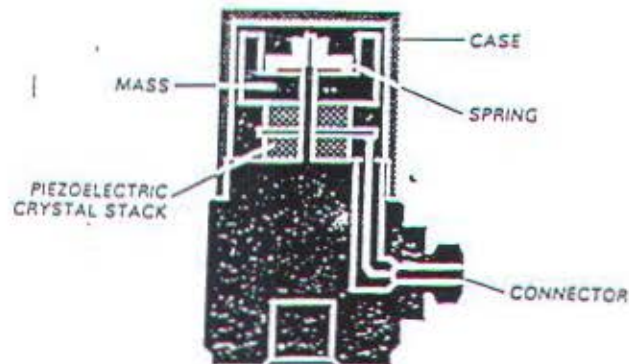
Karakteristik transduser kecepatan (velocity transducer) :

- Daerah kerjanya antara 10 sampai 1000 Hz, sangat cocok untuk kebanyakan mesin-mesin. Diluar daerah kerja ini meliputi getaran pada roda gigi dan sudu-sudu turbin kecepatan tinggi.
- Pemasangan transduser tidak terlalu kritis. Pengkondisian sinyal tidak diperlukan.
- Karena merupakan peralatan elektromekanis yang berarti mempunyai bagian bergerak, maka transduser ini akan mengalami keausan dan perubahan kalibrasi. Suhu operasi tinggi juga dapat mengubah kalibrasinya.
- Sangat baik untuk diterapkan sebagai alat pengukur yang dipegang tangan (hand held measurement)

3.2.3. Acceleration transducer (accelerometer)

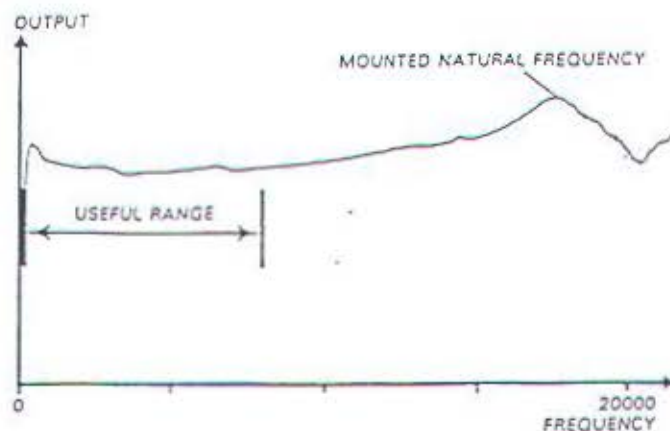
Transduser ini bekerja secara elektromekanis, dapat digunakan untuk mengukur tingkat percepatan overall (filter out) dan acceleration pada masing-masing frekuensi sumber vibrasi (filter in) dengan hasil yang didapatkan bersifat absolut.

Secara umum transduser percepatan merupakan transduser yang paling populer untuk analisa getaran karena ketelitian dan ketahanannya. Bahan utama transduser ini adalah piezoelectric yang dapat mengeluarkan aliran listrik jika mendapatkan tekanan. Gambar 3.5. menunjukkan konstruksi sederhana transduser percepatan.



Gambar 3.5
Konstruksi transduser percepatan

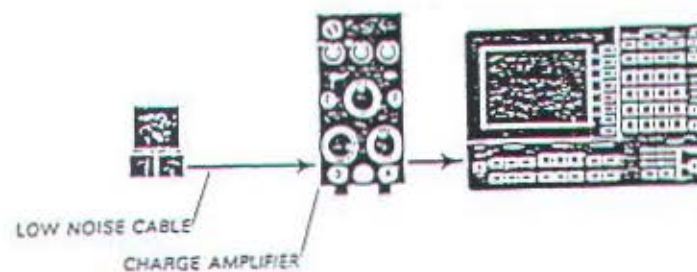
Masa yang bergetar menimbulkan gaya pada kristal piezoelektrik yang menghasilkan arus sebanding dengan gaya tersebut (jadi sebanding dengan percepatan). Frequency response (tanggapan pada berbagai frekuensi) yang umum ditunjukkan pada gambar 3.6. Terlihat bahwa frekuensi pribadinya terletak diatas daerah kerja. Frekuensi operasi harus dibatasi sampai 30% dari frekuensi pribadi.



Gambar 3.6.
Respon frekuensi accelerometer

Sensitivitas transduser percepatan sangat tergantung pada ukuran massanya. Masa besar menghasilkan keluaran yang besar. Keluaran yang besar ini sangat penting untuk menambah kegunaannya pada frekuensi rendah. Namun yang perlu diingat adalah semakin besar masa makin kecil frekuensi pribadinya. Dengan demikian semakin besar sensitivitasnya makin kecil daerah operasinya.

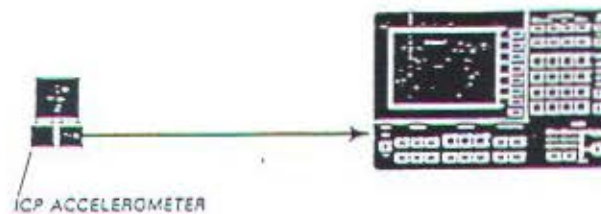
Accelerometer memerlukan pengkondisian sinyal. Cara yang umum digunakan adalah dengan memakai charge amplifier, gambar 3.7.



Gambar 3.7.
Pengkondisian sinyal accelerometer

Namun demikian ada jenis accelerometer yang dilengkapi dengan rangkaian pengkondisian sinyal didalamnya. Accelerometer ini disebut ICP (integrated circuit piezoelectric), yang dapat langsung dihubungkan dengan Dynamic Signal Analyzer. Namun demikian ada jenis accelerometer yang dilengkapi dengan rangkaian pengkondisian sinyal didalamnya. Accelerometer ini disebut ICP (integrated circuit piezoelectric), yang dapat langsung dihubungkan dengan Dynamic Signal Analyzer, gambar 3.8. Manfaat lain yang diperoleh dengan ICP adalah kabel derau rendah (low noise cable) yang menghubungkan accelerometer

dengan charge amplifier tidak diperlukan. Terutama untuk jarak panjang, penghematan yang besar dapat diperoleh.



Gambar 3.8. ICP Accelerometer

Karakteristik accelerometer :

- ❑ Mempunyai daerah kerja terlebar diantara ketiga transduser. Kekurangannya adalah keluarannya sangat kecil pada frekuensi rendah . Keluaran yang besar pada frekuensi tinggi cenderung menutupi kelemahan pada frekuensi rendah (persoalan ini tidak terjadi pada Dynamic Signal Analyzer dengan daerah kerja lebar).
- ❑ Memerlukan pengkondisian sinyal, tetapi masalah ini teratasi dengan adanya Integrated Circuit Piezoelectric.
- ❑ Frequency response rendah dari accelerometer piezoelectric dibatasi sampai 5 Hz.
- ❑ Sangat peka terhadap pemasangan, karena itu accelerometer tidak cocok untuk pengukuran yang dipegang tangan.

Sekarang ini pabrik pembuat alat ukur vibrasi lebih cenderung menggunakan bahan piezoelectric pada satu transduser untuk seluruh pengukuran (displacement, velocity dan acceleration). Hal ini disebabkan oleh kemajuan

teknologi yang memungkinkan transduser mampu beroperasi pada frekuensi tinggi yang lebih luas dan juga pada frekuensi rendah.

Selain dari pada itu kesalahan pengukuran yang ditimbulkan kecil karena tidak ada komponen yang bergerak (pegas) seperti pada velocity dan displacement transducer, karena menggunakan piezoelectric dari bahan kristal.

3.2.4. Stroboscope dan keyphasor.

Stroboscope adalah lampu yang dihubungkan ke instrumen pengukur vibrasi, digunakan untuk melihat sudut fase pada poros dengan cara menyinari poros yang sedang berputar. Lampu ini digunakan untuk analisa vibrasi dan dinamik balansing. Selain alat ini ada juga peralatan yang menggunakan keyphasor, dimana sudut fasenya terbaca pada instrumen pengukur vibrasi bukan langsung pada porosnya.

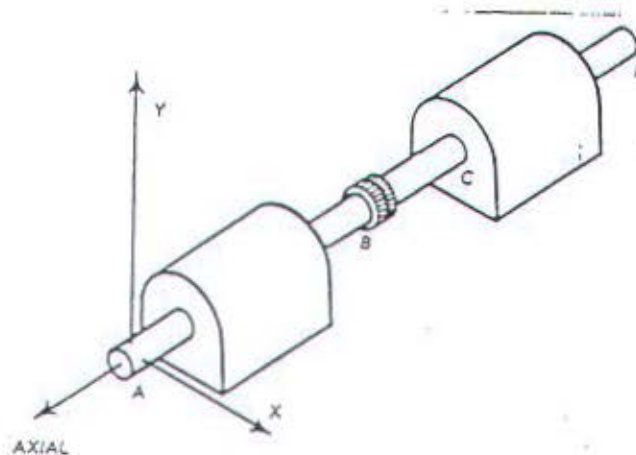
3.3. Pemilihan Transduser

Tabel 3.1 merupakan panduan pemakaian transduser untuk pengukuran pada berbagai jenis mesin.

Machine Description	Transducer	Location
Steam Turbine/large pump or compressor with fluid film bearing	Displacement	Radial horizontal and vertical at A,B,C,D.Redundant axial at A and D
Gas turbine or medium size pump	Displacement	Radial horizontal and vertical at A and B
	Velocity	Radial horizontal or vertical at A and B

Machine Description	Transducer	Location
Motor/fan, both with fluid film bearings	Displacement or Velocity	One radial at each bearing. One axial displacement to detect thrust wear.
Motor/pump or compressor with rolling element bearings.	Velocity or acceleration	One radial at each bearing. One axial, usually on motor, to detect thrust wear.
Gearbox with rolling element bearings.	Acceleration	Transducers mounted as close to each bearing as possible.
Gearbox shafts with fluid film bearings.	Displacement	Radial horizontal and vertical at each bearing. Axial to detect thrust wear.

Tabel 3.1.
Aplikasi transduser



Gambar 3.9.
Lokasi transduser yang direferensikan pada tabel 3.1

Langkah-langkah yang diambil untuk memilih transducer adalah sebagai berikut :

Langkah I.

Tentukan paramater yang akan diamati. Bila yang akan diamati adalah kelonggaran atau perpindahan relatif, maka hanya ada satu pilihan yaitu

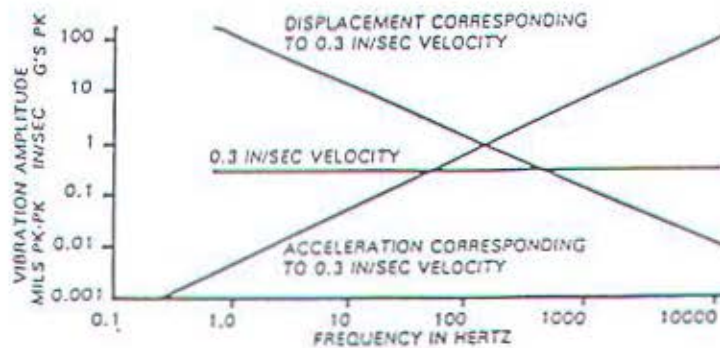
transduser perpindahan. Bila paramater lain yang dipantau maka dapat dilanjutkan ke langkah berikutnya.

Langkah II.

Pertimbangkan impedansi mekanis. Bila getaran tidak diteruskan ke rumah mesin, maka transduser perpindahan harus digunakan untuk mengukur poros rotor secara langsung. Hal ini terjadi pada sistem rotor atau bantalan fleksibel dengan rumah mesin yang berat. Bila poros tidak dapat dijangkau dari luar (seperti poros dalam gear box) atau bila sistem rotor/bantalan kaku, maka transduser kecepatan dan percepatan yang dipasang pada casing harus dipasang. Jika sistem bantalan /poros antara kaku dan fleksibel maka transduser absolut dan relatif keduanya harus dipakai. Bila langkah pertama dan kedua menunjukkan transduser perpindahan, ini berarti bahwa transduser perpindahan akan memberikan hasil terbaik. Tetapi jika jika transduser percepatan dan kecepatan yang ditunjukkan lanjutan ke langkah berikutnya.

Langkah III.

Pertimbangkan frekuensi . Bila frekuensi getaran diperkirakan lebih tinggi dari 1000 Hz, maka accelerometer yang harus digunakan. Bila frekuensi diperkirakan di daerah 10 Hz sampai 1000 Hz transduser kecepatan atau percepatan dapat digunakan. Nomograf pada gambar 3.10. dapat digunakan untuk menentukan dapat tidaknya accelerometer memberikan keluaran yang memadai.



Gambar 3.10

Vibration nomograph.

Secara umum transduser kecepatan digunakan bila :

- Tingkat getaran total (bukan komponennya) yang akan diukur untuk mendeteksi cacat.
- Transduser dipegang tangan dalam pengukuran.
- Mesin yang dianalisis adalah mesin berkecepatan rendah.(kurang dari 1200 RPM)

Accelerometer digunakan bila :

- Untuk analisa getaran frekuensi tinggi diatas 1000 Hz, seperti getaran sudu turbin atau roda gigi.
- Dikehendaki umur transduser yang panjang (lebih dari 2 tahun)
- Suhu sekeliling tinggi. Integrated circuit accelerometer mempunyai suhu kerja sampai 120° celcius.

3.4. Metode Analisa Getaran

Masalah-masalah yang sering menimbulkan getaran pada sebuah mesin atau sistem permesinan antara lain adalah :

- ♦ Ketidakseimbangan (unbalance) pada bagian-bagian yang berputar.
- ♦ Misalignment coupling-coupling dan bantalan-bantalan.
- ♦ Belokan poros.
- ♦ Keausan dan kerusakan pada roda gigi.
- ♦ Sabuk dan rantai penggerak yang jelek.
- ♦ Bantalan-bantalan yang jelek -anti- friction type.
- ♦ Variasi-variasi torsi.
- ♦ Gaya elektromagnetik.
- ♦ Gaya aerodinamik.
- ♦ Gaya hidrolik.
- ♦ Kelonggaran (looseness).
- ♦ Resonansi.

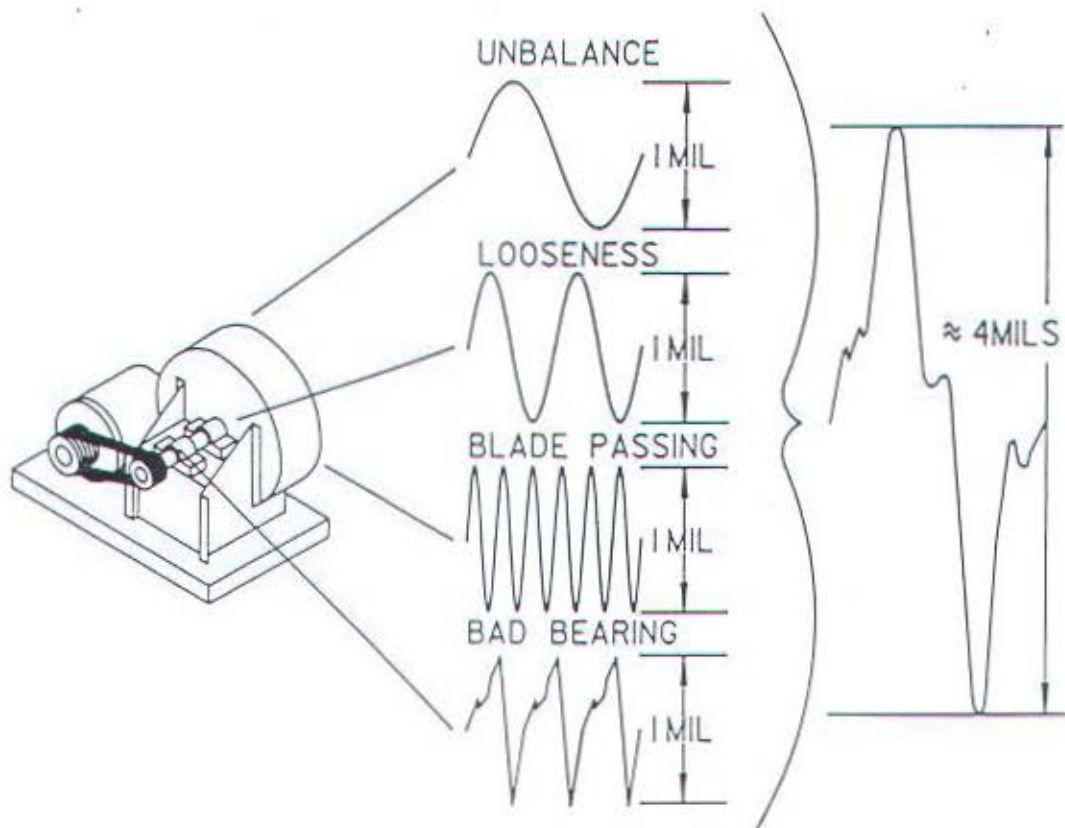
Masalah-masalah tersebut dapat dianalisa dengan sebuah atau lebih metode analisa getaran tergantung dari kompleks tidaknya masalah vibrasi tersebut.

Salah satu metode analisa getaran yang sering digunakan adalah metoda frekuensi domain. Selain itu masih ada beberapa metode-metode lain seperti phase analysis, mode shape, time waveform, dan lissajous patterns (orbits).

3.4.1. Metoda Frekuensi Domain

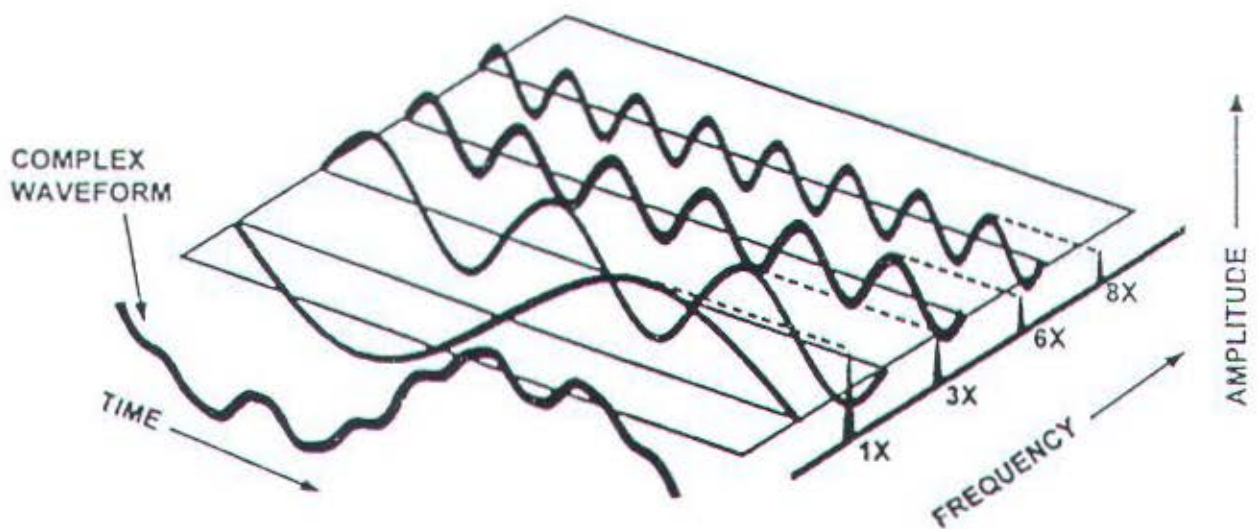
Frekuensi domain adalah metode mencari penyebab getaran berdasarkan frekuensi yang ditimbulkan. Dengan mengetahui frekuensi getaran dapat diketahui bagian-bagian mesin yang mengalami kerusakan. Lebih kurang 85% masalah-masalah vibrasi dapat dipecahkan dengan metoda frekuensi domain.

Menurut fourier vibrasi yang dirasakan pada suatu mesin sudah merupakan penjumlahan dari satu atau beberapa sumber vibrasi yang ada pada mesin tersebut. Hal ini diperlihatkan seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. kombinnasi beberapa sumber vibrasi

Untuk menguraikan penjumlahan vibrasi tersebut menjadi komponen –komponen yang membentuknya , hal ini perlu dilakukan dengan menggunakan Fourier Transformer. Fourier transformer adalah suatu cara perhitungan matematik yang mentransformasikan vibrasi dari time domain ke frekuensi domainnya.



Gambar 3.12.

Penguraian vibrasi dari time domain ke frekuensi domain

Teori Fourier menyatakan :

Setiap fungsi periodik dapat diuraikan menjadi beberapa fungsi harmonik sinusoidal yang mana frekuensi dari setiap fungsi sinusoidal itu mempunyai perkalian bilangan bulat 1,2,3,... dan seterusnya.

Dan apabila hal tersebut dinyatakan dengan rumus dapat ditulis sebagai suatu fungsi sebagai berikut :

$$F(t) = A_1 \sin(\omega t + \theta_1) + A_2 \sin(2\omega t + \theta_2) + A_3 \sin(3\omega t + \theta_3) + \dots$$

ω = kecepatan sudut (rad/sec) yang identik dengan putaran (rpm)

$\omega/2\pi$ = frekuensi

θ = sudut fasa

A = amplitudo

T = waktu

$F(t)$ adalah fungsi periodik suatu vibrasi yang merupakan penjumlahan dari komponen-komponen penyebab vibrasi yang dinyatakan dalam fungsi harmonik sinusoidal. Dengan kata lain $F(t)$ adalah vibrasi yang diukur secara filter out sedangkan komponen-komponennya A_1 , A_2 , A_3 dan seterusnya dengan frekuensi 1x, 2 x, 3 x dan seterusnya adalah vibrasi yang dapat diukur secara filter in atau dalam analisa vibrasi biasa disebut frekuensi 1x rpm, 2 x rpm, 3 x rpm dan seterusnya.

Amplitudo getaran (displacement, velocity, dan acceleration) diukur dalam order tertetu untuk menyederhanakan getaran dan memudahkan dalam penganalisaannya. Pada tabel 3.2. dapat dilihat penggunaan frekuensi untuk mengidentifikasi masalah-masalah penyebab timbulnya getaran.

Frequency in terms of RPM	Most likely causes	Other possible causes & remarks
1 x RPM	Unbalance	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eccentric journals, gear or pulleys 2. Misalignment or bent shafts – if high axial vibration 3. Bad belts if RPM of belt 4. Resonance 5. Reciprocating forces 6. Electrical problems
2 x RPM	Mechanical looseness	<ol style="list-style-type: none"> 1. Misalignment if high axial vibration 2. Reciprocating forces 3. Resonance 4. Bad belts if 2 x RPM of belt
3 x RPM	Misalignment	Usually a combination of misalignment and excessive axial clearances (looseness)
Less than 1 x RPM	Oil whirl (less than ½ RPM)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bad drive belts 2. Background vibration 3. Sub-harmonic resonance 4. "Beat" vibration
Synchronous (A.C. line frequency)	Electrical problems	Common electrical problems include broken rotor bars, eccentric rotor, unbalanced phases in-poly phase systems, unequal air gap
2 x synchronous frequency	Torque pulses	Rare as a problem unless resonance is excited
Many time RPM (harmonically related frequency)	Bad gear Aerodynamic forces Hydraulic forces Mechanical looseness Reciprocating forces	Gear teeth times RPM of bad gear Number of fan blades times RPM Number of impeller vanes times RPM May occur at 2, 3, 4 and sometimes higher harmonic if severe looseness
High frequency (not harmonically related)	Bad anti-friction Bearings	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bearing vibration may be unsteady-amplitude and frequency 2. Cavitation, recirculation and flow turbulence cause random, high frequency vibration 3. Improper lubrication of journal bearing (friction excited vibration)

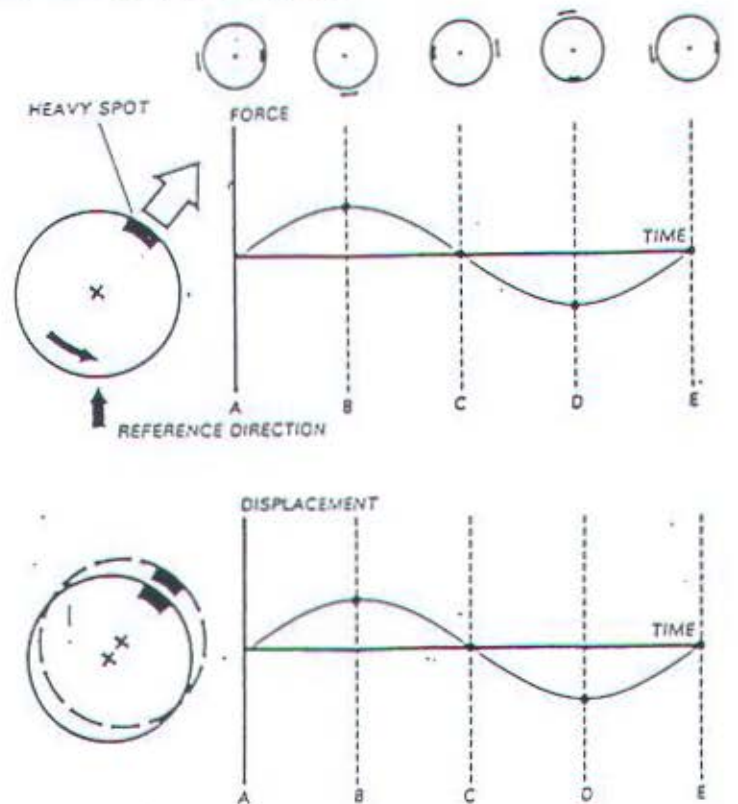
Tabel 3.2. Vibration identification chart (vibration frequency)

3.4.2. Metode Phasa Analisis

Phasa adalah posisi suatu bagian mesin yang sedang bergerak, dibandingkan dengan suatu titik tetap (fixed point) atau bagian bergetar

Isinnya. Tanpa adanya fixed point sebagai acuan sudut fasa suatu gerakan tidak dapat diamati.

Pada gambar 3.13. terlihat sebuah rotor yang tidak balans karena memiliki sisi berat (heavy spot) pada tepinya. Jika rotor berputar maka heavy spot akan menghasilkan gaya sentrifugal, yang kalau dilihat dari sumber acuan (fixed point) akan berupa sinusoidal.



Gambar 3.13

Gaya dan displacement rotor unbalance

Di titik A, C, E atau pada sudut fasa 0° , 180° , 360° gaya pada arah sumbu berharga nol. Di titik B dan D terjadi gaya maksimum positif dan maksimum negatif. Respon rotor terhadap gaya sentrifugal tersebut berupa perpindahan searah dengan gaya tersebut, bila porosnya kaku. Pengukuran getaran yang



mendeteksi perpindahan rotor menghasilkan kurva yang serupa dengan kurva gaya. Harga amplitudo perpindahan berbanding lurus dengan amplitudo gaya, sesuai dengan sifat dinamik rotor.

Penggunaan sudut fasa dalam analisa vibrasi lebih ditujukan untuk lebih memperjelas dalam mengidentifikasi penyebab vibrasi yang sudah ditentukan. Tabel 3.3. berikut ini menunjukkan penggunaan sudut fasa, selain frekuensi dalam mengidentifikasi penyebab vibrasi.

Cause	Amplitude	Frequency	Phase	Remarks
Unbalance	Proportional to Unbalance Largest in radial direction	1 x RPM	Single Reference Mark-stable repeatable	Most common cause of vibration
Misalignment Coupling or Bearing and Bent Shaft	Large in axial direction, 50% or more of radial direction	1 x RPM usual 2 & 3 x RPM sometimes	Single Double or Triplet	Best found by appearance of large axial vibration. Use dial indicator or other method for positive diagnosis. If sleeve bearing machine and no coupling misalignment, balance the rotor.
Bad Bearings Anti-friction Type	Unsteady-use velocity, acceleration, and spike energy measurements	Very high Several times RPM	Erratic-Multiple Marks	Bearing responsible most likely the one nearest point of largest high frequency vibration. Spike energy measurement recommended when analyzing bearing failures.
Eccentric Journals	Usually not large	1 x RPM	Single Mark	If on gears largest vibration in line with gear centers. If on motor or generator vibration disappears when power is turned off. If on pump or blower attempt to balance.

Cause	Amplitude	Frequency	Phase	Remarks
Bad gear or gear noise	Low-use velocity, acceleration, and spike energy measurements	Very high Gear teeth Times RPM	Erratic-Multiple Marks	Velocity, acceleration, and spike energy measurements recommended when analyzing gear problem. Analyze higher orders and sideband frequencies.
Mechanical Looseness	Sometimes Erratic	2 x RPM	Two Reference Marks, Slightly Erratic	Usually accompanied by unbalance and/or misalignment
Bad drive belts	Erratic or pulsing	1,2,3&4 x RPM of belts	One or two depending on frequency, usually unsteady	Strobe light best tool to freeze faulty belt.
Electrical	Disappears when power is turned off.	1 x RPM or 1 or 2 x synchronous frequency	Single or rotating double mark	If vibration amplitude drops off instantly when power is turned off cause is electrical. Mechanical and electrical problems will produce "beats".
Aerodynamic or hydraulic forces	Can be large in the axial direction	1 x RPM or number of blades on fan or impeller x RPM	Multiple Marks	Rare as a cause of trouble except in cases of resonance.
Reciprocating forces	Higher in line with motion	1,2, & higher orders x RPM	Multiple Marks	Inherent in reciprocating machines, can only be reduced by design changes or isolation.

Tabel 3.3. Vibration identification chart (amplitude, frequency, phase)

3.5. Karakteristik Getaran Mesin

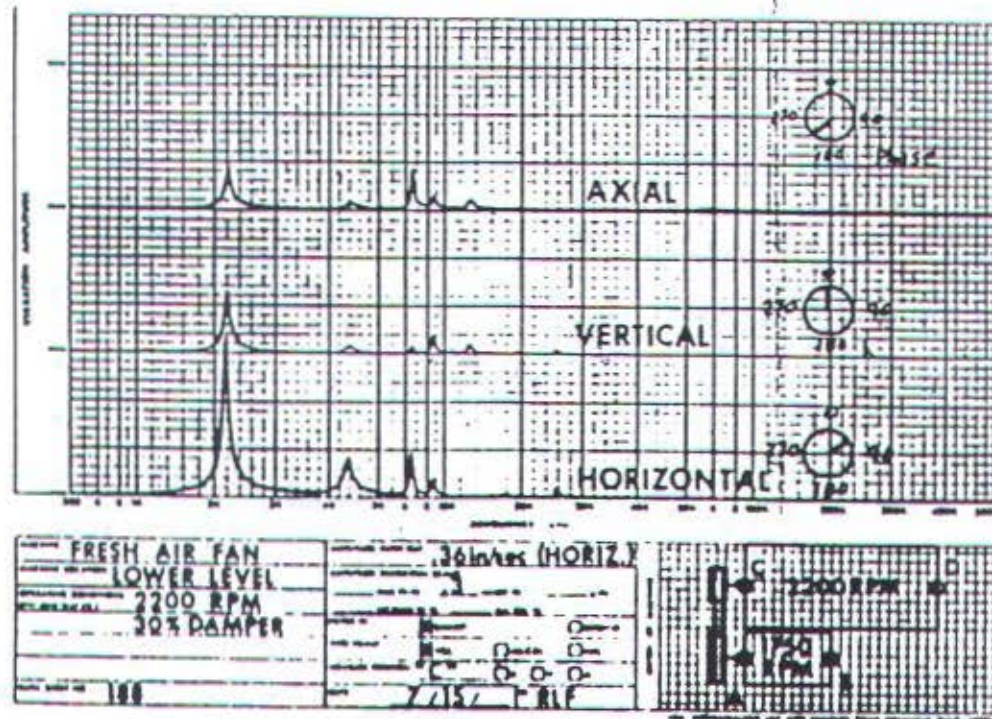
Beberapa jenis kerusakan mesin yang sering terjadi dan menyebabkan timbulnya getaran tinggi diantaranya adalah sebagai berikut :

3.5.1. Unbalance

Karakteristi utama dari getaran yang disebabkan oleh unbalance adalah:

- Getaran sinusoidal dengan frekuensi satu per putaran poros (1 x RPM)
- Amplitudo arah radial tinggi, sedangkan arah axial tidak melebihi 50% dari arah radial. Hal ini tidak berlaku jika unbalance yang terjadi adalah jenis kopel, yang bisa terjadi pada poros atau rotor panjang seperti turbine beberapa tingka, generator, pompa beberapa tingkat dan sebagainya.
- Perpindahan trasduser dari arah vertikal ke arah horisontal atau sebaliknya akan merubah sudut fase sebesar 90° .
- Kenaikan amplitudo vibrasi pada putaran 0 rpm sampai dengan putaraan kritis sangat mendaki. Amplitudo vibrasi pada putaran kritis lebih tinggi dari pada biasanya, sedangkan penurunan vibrasi setelah melewati putaran kritis tidak seberapa besar.

Contoh karakteristik unbalance yang digambarkan secara spektrum dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.14

Spektrum getaran unbalance pada sebuah motor yang menggerakkan fan

Pada frekuensi 1x rpm (2200 cpm) amplitudo arah horizontal (radial) lebih tinggi dari arah axial. Hal ini berarti unbalance terjadi pada fan. Amplitudo pada frekuensi lainnya (2x, 3x, 4x rpm) tidak menjadi masalah, selama besarnya tidak melebihi 50% dari amplitudo 1 x rpm. Jika melebihi, kemungkinan adalah looseness, clearance bearing terlalu besar, pondasi retak. Dengan demikian balansing hasilnya sulit dicapai sebelum kerusakan tersebut diatasi.

Pada overhung rotor, unbalance terjadi pada frekuensi 1x rpm, tetapi amplitudo arah axial tinggi bahkan dapat melebihi amplitudo arah radial. Overhung rotor adalah rotor yang letaknya tidak berada diantara kedua bearing penumpu, melainkan berada tergantung di luar daripadanya.

3.5.2. Misalignment.

Jenis- jenis misalignment adalah sebagai berikut :

- Misalignment kopling (sudut, ketidaksejajaran atau kombinasi keduanya)

Karakteristik misalignment kopling adalah sebagai berikut :

- ◆ Frekuensi 1 x rpm, jika cukup besar 2x, atau 3 x rpm.
- ◆ Jika amplitudo pada frekuensi 2x atau 3 x rpm besarnya 30% sampai dengan 75% dari amplitudo pada frekuensi 1 x rpm, maka mesin harus diamati dengan cermat selama beroperasi dan diadakan perbaikan hingga kesempatan untuk stop. Jika amplitudo tersebut lebih dari 150% maka kerusakan telah terjadi dan mesin harus distop untuk diperbaiki.
- ◆ Terjadi kenaikan temperatur dan tekanan minyak pelumas di bearing. Hal ini merupakan pengaruh tidak langsung dari misalignment terhadap minyak pelumas.

Adakalanya gaya misalignment yang bekerja pada kopling dapat diredam karena kekarnya kopling tersebut. Tetapi reaksi dari pada gaya ini akan timbul pada bagian poros diluar kedua bearing penumpunya. Kondisi ini dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan-peralatan yang ada disana.

- Torque lock

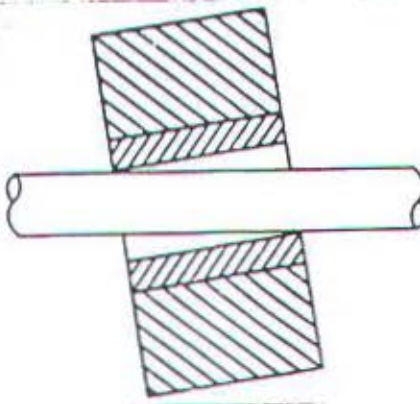
Misalignment dapat terjadi pada roda gigi yang mengkopel mesin penggerak dengan mesin yang digerakkan. Misalignment ini terjadi akibat gaya torsi yang bekerja pada poros sehingga salah satu poros roda gigi akan terangkat keatas dan yang lainnya tertekan kebawah (apabila kedudukan kedua poros tersebut sejajar horisontal). Hal ini terjadi jika poros roda gigi terlalu panjang atau material poros

kurang kuat sehingga poros mudah melengkung akibat momen yang diteritanya. Penyebab lain adalah pelumasan pada bearing-bearing yang kurang baik sehingga clearance padanya tidak terisi minyak melainkan terisi oleh poros.

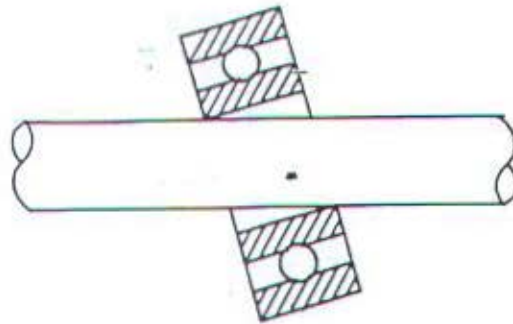
Kejadian ini dapat diidentifikasi dengan cara mengukur amplitudo vibrasi dan sudut fase pada arah axial di bearing penumpu roda gigi. Setelah itu mesin dimatikan hingga putaran berhenti. Kemudian mesin dihidupkan lagi hingga mencapai kondisi sebelum mesin dimatikan (putaran, temperatur, beban dan sebagainya) lalu pengukuran vibrasi seperti sebelumnya diulang kembali. Apabila amplitudo vibrasi dan sudut fase tidak sama dengan hasil pengukuran sebelumnya, maka berarti terjadi "Torque Lock".

❑ Misalignment bearing.

Misalignment bukan saja dapat terjadi di kopling tapi bisa juga terjadi pada posisis bearing penumpu poros, seperti pada gambar 3.15 dan gambar 3.16 berikut ini.



Gambar 3.15
Sleeve bearing



Gambar 3.16.
Rolling element bearing

Pada sleeve bearing pada gambar 3.15, karakter yang diberikan hanyalah gejala unbalance (frekuensi $1 \times \text{rpm}$) tetapi vibrasi radial dan axial besarnya tidak jauh berbeda. Masalah ini dapat diatasi dengan membalans rotor dimana vibrasi radial maupun axialnya akan mengecil setelah rotor balans.

Pada anti friction bearing gambar 3.16, karakter yang diberikan adalah frekuensi $1x$, $2x$, $3x \text{ rpm}$ atau pada frekuensi sebesar perkalian jumlah roll/ball dengan rpm. Sedangkan vibrasi axialnya tetap besar walaupun poros/rotor telah dibalans. Untuk mengatasi hal ini adalah dengan memperbaiki posisi bearing tersebut.

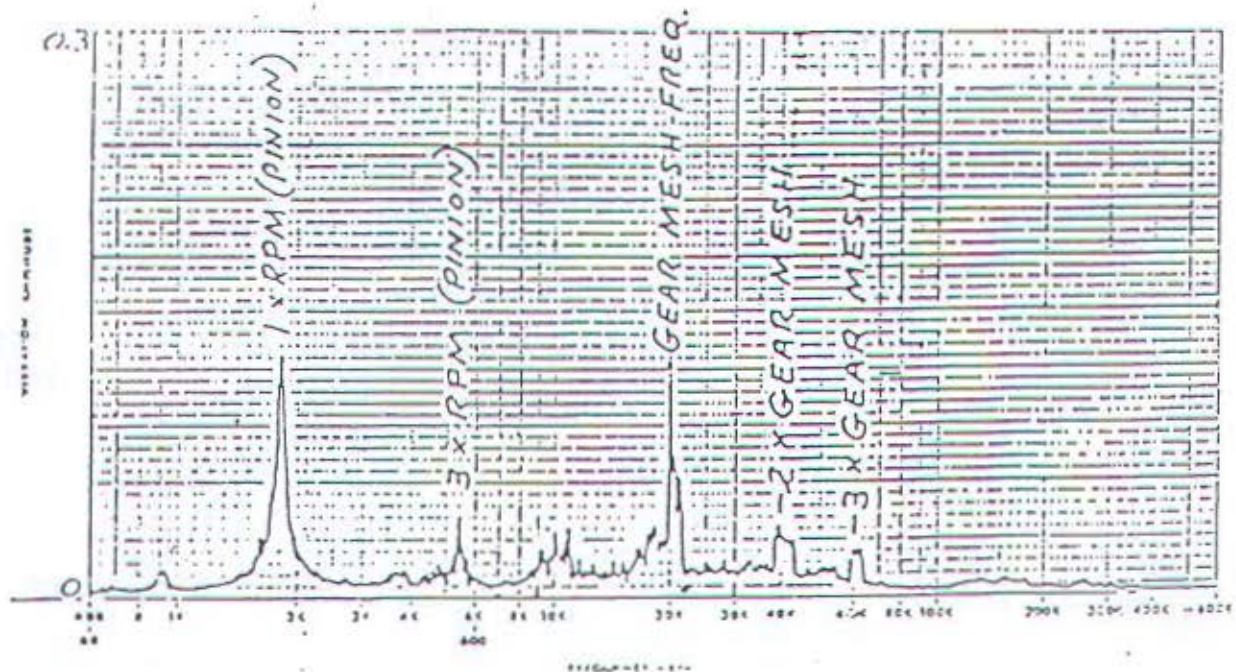
Bearing misalignment bisa terjadi bukan saja karena kesalahan pemasangan bearing yang kurang benar posisinya, tapi bisa juga karena distorsi (penyimpangan bentuk) pada alas kaki support (base plate) akibat kencangnya tekanan salah satu atau beberapa baut pengikat terhadap base plate, sehingga posisi support/bearing menjadi miring.

3.5.3. Kerusakan Gigi

Kerusakan gigi dapat disebabkan oleh keausan, sentuhan gigi tidak smooth, bentuk gigi yang tidak sesuai, pelumasan yang tidak baik dan eksentrisitas.

Karakteristik kerusakan roda gigi adalah sebagai berikut :

- Frekuensi terjadi umumnya pada frekuensi gear mesh, yaitu frekuensi sebesar perkalian jumlah gigi dengan kecepatan putaran (rpm). Frekuensi ini akan selalu tampak pada spektrum getaran, baik untuk roda gigi yang dalam keadaan rusak maupun baik. Seperti gambar 3.17 dibawah ini.



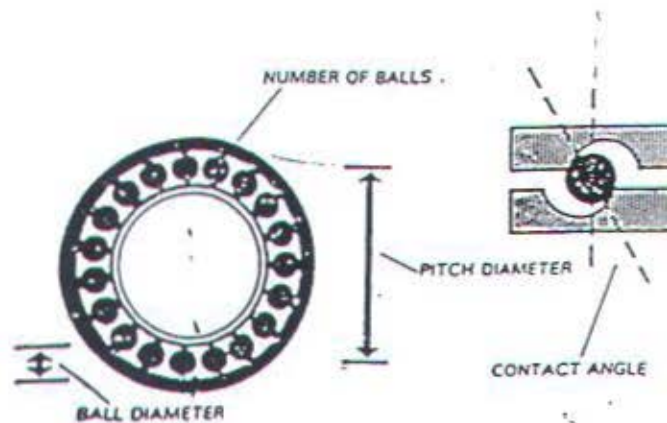
Gambar 3.17
Frekuensi gear mesh

Hal ini terjadi jika kerusakan karena keausan gigi, sentuhan dan bentuk gigi yang tidak tepat atau pelumasan yang tidak baik. Apabila keausan gigi yang terjadi mengakibatkan kerenggangan yang cukup besar, maka frekuensi dapat terjadi pada 2x atau 3x frekuensi gear mesh bahkan bisa lebih dari pada itu.

- Jika kelainan yang terjadi disebabkan misalignment atau eksentrisitas, maka akan muncul frekuensi "side band" pada sebelum dan sesudah frekuensi gear mesh, yaitu munculnya 2 buah amplitudo dengan frekuensi yang mengapit frekuensi gear mesh sebesar plus dan minus dari 1x rpm gigi.

3.5.4. Bantalan Gelinding (ball bearing).

Munculnya frekuensi khusus yang ditimbulkan oleh cacat bantalan memungkinkan untuk mendeteksi dan menganalisa kerusakan bantalan. Frekuensi ini antara lain BPFO (Ball pass Frequency Outer), BPFI (Ball Pass Frequency Inner), Fundamental Train Frequency dan Ball Spin Frequency. Parameter bantalan yang menentukan frekuensi tersebut adalah diameter bola, jumlah bola diameter pitch dan sudut kontak. Seperti terlihat dalam gambar 3.18. dibawah ini.



Gambar 3.18

Bearing characteristic frequencies.

Untuk menghitung frekuensi getaran pada bantalan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$\text{Defect on outer race} = \frac{n}{2} \cdot \frac{\text{rpm}}{60} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \phi \right)$$

(Ball pass frequency outer)

$$\text{Defect on inner race} = \frac{n}{2} \cdot \frac{\text{rpm}}{60} \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \phi \right)$$

(Ball pass frequency inner)

$$\text{Ball defect (ball spin frequency)} = \frac{Pd}{2 \cdot Bd} \cdot \frac{\text{rpm}}{60} \left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \right)^2 \cos^2 \phi \right)$$

$$\text{Fundamental train frequency} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\text{rpm}}{60} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \phi \right)$$

Pd = pitch diameter

ϕ = contact angle

Bd = ball diameter

n = number of ball

Rumus-rumus untuk menghitung frekuensi getaran yang bersumber pada bantalan rusak seperti terlihat diatas memakai asumsi bahwa cacat pada bantalan tunggal, rolling contact, poros berputar bersama cincin dalam sedangkan cincin luar dimatikan (fixed). Bila ukuran bantalan tidak ada, frekuensi karena cacat pada alur (race) dalam dan luar dapat dihitung sebagai 60% dan 40% dari jumlah bola kali kecepatan putar. Pendekatan ini dimungkinkan karena rasio diameter bola dengan diameter pitch hampir konstan.

Beberapa penjelasan untuk dapat lebih mengerti tentang rumusan diatas adalah sebagai berikut :

- Karena bola-bola menggelinding pada cincin luar dan cincin dalam, maka kecepatan geraknya (kecepatan gerak pusat massanya) terhadap sumbu poros merupakan rata-rata kecepatan cincin luar dan dalam, $\frac{1}{2}$ kecepatan pusat poros. Oleh karena itu tertulis faktor $\frac{1}{2}$ pada rumus diatas.
- Suku-suku dalam tanda kurung merupakan penyesuaian. Misalnya bola akan lebih sering melewati cacat alur dalam dari pada alur luar, karena jarak keliling alur dalam lebih pendek dari jarak keliling alur luar.
- Sangkar (cage) yang aus akan menimbulkan getaran dengan frekuensi dibawah kecepatan putar yang disebut "fundamental train frequency".

3.5.5. Kerenggangan mekanis (Mechanical Looseness)

Kerenggangan pada suatu mesin dapat disebabkan oleh kerenggangan baut, kerenggangan bearing, keretakan pondasi, kerenggangan antara rotor dengan

poros dan sebagainya. Pada motor listrik dan generator, kerenggangan dapat terjadi pada rotor bar atau gulungan rotor maupun stator.

Karakteristik kerenggangan mekanis adalah sebagai berikut :

- Frekuensi dapat terjadi pada 2 sampai dengan 6 x rpm. Biasanya disertai dengan unbalance atau misalignment.
- Jika balancing atau alignment sulit dicapai hasil yang baik, ada kemungkinan terjadi kerenggangan mekanis yang cukup berarti.
- Apabila amplitude pada frekuensi 2 x rpm atau lebih mempunyai besar yang melebihi setengah dari amplitude pada frekuensi 1 x rpm, maka masalah kerenggangan mekanis perlu mendapatkan perhatian yang lebih serius.

3.5.6. Vibrasi karena listrik.

Vibrasi karena masalah listrik pada mesin-mesin rotasi hanya terjadi pada generator dan motor listrik. Masalah ini biasanya disebabkan oleh ketidakmerataan gaya medan magnet yang bekerja pada rotor atau stator. Hal ini bisa disebabkan karena hubungan singkat pada gulungan, kerusakan pada rotor, sumbu rotor dan stator tidak segaris, stator atau rotor tidak bundar benar dan sebagainya.

Karakteristik getaran karena masalah listrik adalah sebagai berikut :

- ♦ Vibrasi menurun secara drastis jika aliran listrik dimatikan. Untuk ini pengukuran dilakukan secara filter out.
 - ♦ Jika vibrasi menurun secara perlahan setelah aliran listrik dimatikan, penyebabnya bukan masalah listrik tetapi masalah mekanis.
-

3.5.7. Vibrasi karena gaya aerodinamis.

Vibrasi yang disebabkan oleh gaya aerodinamis pada mesin-mesin rotasi sering terjadi pada fan atau blower. Hal ini umumnya dikarenakan adanya turbolensi fluida yang berlebihan, akibat pukulan blade dengan fluida tersebut.

Getaran karena aerodinamis biasanya kecil dan tidak menimbulkan masalah yang serius, tetapi jika getaran tersebut besarnya diluar kewajaran, perlu diperhatikan dua hal yaitu :

- Kemungkinan terjadinya resonansi pada bagian-bagian peralatan yang menerima getaran dari gaya aerodinamis tersebut. Untuk itu perlu dilakukan pengecekan resonansi pada masing-masing peralatan.
- Kemungkinan adanya halangan yang menggagu kelancaran aliran fluida. Hal ini perlu pemeriksaan adanya gangguan pada sisi aliran masuk maupun keluar fan atau blower. Posisi pembukaan damper dan bentuk damper yang kurang aerodinamis juga dapat mengakibatkan gangguan pada aliran fluida ini.

Demikian juga jika ada masalah eksentrisitas pada rotor fan sentrifugal, yang mengakibatkan jarak kerenggangan antara blade dengan rumah fan selalu berubah-ubah selama berputar. Perubahan- perubahan ini mengakibatkan aliran udara keluar blade terganggu.

Karakteristik getaran karena gaya aerodinamis adalah sebagai berikut :

- Frekuensi pada 1 x rpm terjadi jika jarak antar blade ada yang tidak sama.
 - Frekuensi sebesar perkalian jumlah blade dengan putaran karena adanya hambatan aliran fluida.
-

- > Turbulensi pada duct terjadi pada belokan atau perubahan diameter penampang yang tiba-tiba. Hal ini dapat menimbulkan vibrasi yang frekuensinya tidak mempunyai hubungan perkalian dengan putaran, tetapi umumnya besarnya antara 50 cpm sampai dengan 2000 cpm.

3.5.8. Vibrasi karena gaya hidrolik.

Vibrasi hidrolik terjadi pada aliran fluida cair seperti pada peralatan pompa, pipa, katup dan sebagainya. Sama seperti pada vibrasi aerodinamik, vibrasi ini menjadi serius apabila disertai adanya resonansi pada peralatan yang dilalui fluida atau kesalahan desain

Penyebabnya adalah :

☐ Kavitasi

Terjadi pada : pipa isap pompa, katup, perubahan diameter pipa dari kecil ke besar.

☐ Aliran balik

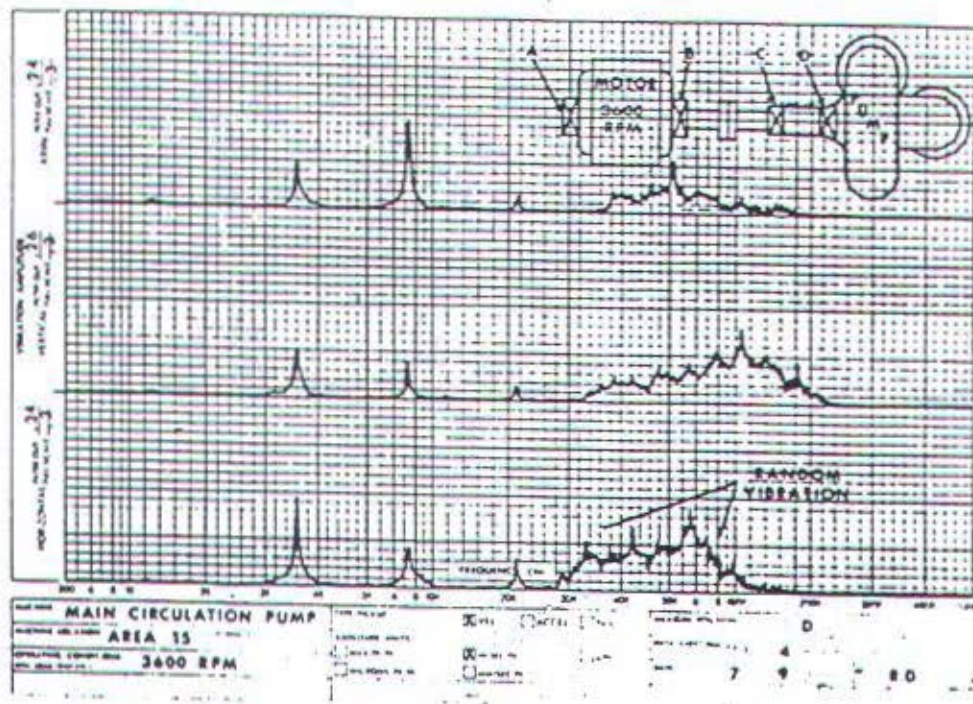
Terjadi pada pompa ketika beroperasi pada kapasitas yang rendah.

☐ Turbulensi

Terjadi pada belokan tajam pada pipa, gesekan dengan pipa atau adanya hambatan aliran fluida.

Karakteristik getaran karena gaya hidrolik .

Beberapa hal sama dengan karakteristik vibrasi aerodinamis, kecuali kavitasi, aliran balik dan turbulensi, mempunyai vibrasi random yang tidak tetap. Seperti terlihat pada gambar 3.19.



Gambar 3.19.

Karakteristik vibrasi hidrolik.

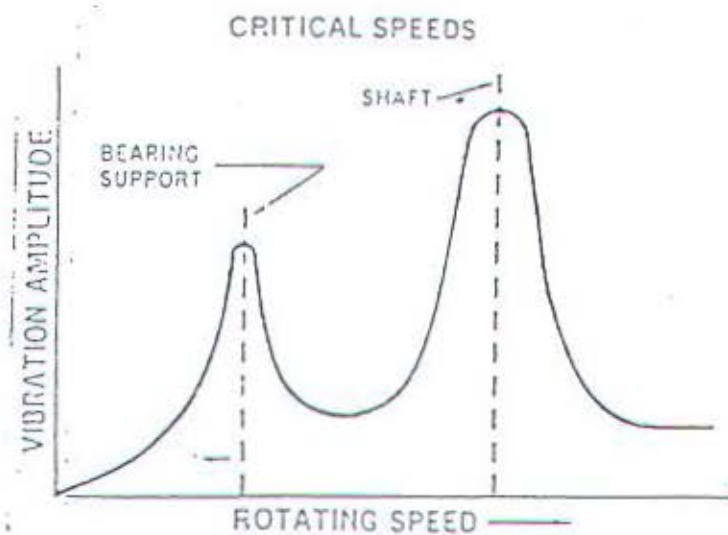
3.5.9. Vibrasi karena resonansi.

Instalasi suatu mesin biasanya terdiri dari rangka, pipa, duct dan sebagainya. Dimana komponen-komponen tersebut mempunyai frekuensi diri (natural frekuensi) yang didesain besarnya tidak boleh ada yang sama dengan putaran mesin. Jika salah satu atau beberapa komponen yang ada dalam mesin tersebut mempunyai frekuensi diri yang sama besar dengan putaran mesin, maka getaran akan meninggi atau yang disebut terjadi resonansi.

Untuk mengetahui apakah terjadi resonansi pada suatu mesin, dapat dilakukan pengukuran amplitudo vibrasi secara filter out dan sudut fase secara bersamaan. Pengukuran ini dilakukan selama mesin dalam keadaan rolling ketika start up,

mulai dari putaran nol hingga putaran kerjanya. Atau dalam kondisi rolling ketika mesin dimatikan dari putaran nominal hingga stop.

Apabila pada suatu putaran tertentu dalam keadaan rolling amplitudo naik dan sudut fase berubah 180° , maka pada komponen mesin yang kita pasang transducer itu terjadi resonansi. Gambar 3.20.



Gambar 3.20.
Vibrasi resonansi

Kejadian ini bisa terjadi beberapa kali selama rolling, tergantung dari berapa banyak komponen yang mempunyai frekuensi diri dibawah putaran nominal mesin, terutama putaran kritis.

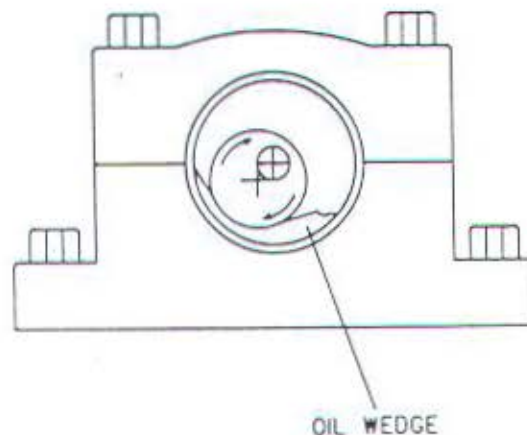
Karakteristik vibrasi resonansi :

- Terjadi penambahan fase sebesar 180° pada amplitude peak ketika rolling.

- Rasio perbandingan amplitude pada suatu arah (horisontal atau vertikal atau axial) dengan arah lainnya terlalu besar (lebih dari 5x)
Pengukuran dilakukan pada putaran kerjanya.
- Frekuensi resonansi tidak merupakan perkalian dari putaran , tetapi tergantung dari frekuensi diri masing-masing komponen.
- Sudut phase pada pengukuran vertikal dan horisontal adalah sama, atau berbeda 180°

3.5.10. Getaran karena putaran minyak pelumas (oil whril)

Vibrasi ini terjadi pada journal bearing, yang hanya terjadi pada mesin-mesin dengan sistem pelumasan minyak bertekanan, serta mesin putaran tinggi (di atas putaran kritis pertama). Gambar 3.21.



Gambar 3.21.

Mekanisme oil whril

Selama berputar, poros di dalam bearing akan bergerak-gerak cenderung terangkat keatas pada satu sisi bearing.

Makin besar clearance yang terjadi antara poros dan bearing makin jauh gerakkannya. Karena keterangkatannya itu, minyak akan mengisi clearance antara poros dan lining bearing bagian bawah.

Minyak ini mendapat tekanan dari poros karena beratnya, sehingga ada lapisan minyak yang menempel pada poros dan ikut berputar. Oleh karena minyak ini juga melapisi lining yang tidak berputar, maka putarannya adalah putaran rata-rata poros dan lining yaitu 50% putaran poros. Tetapi karena adanya faktor gesekan, maka putarannya akan berkurang sedikit daripada itu. Gaya putaran minyak ini akan menimbulkan vibrasi dengan frekuensi antara 43% sampai dengan 48% putaran poros.

Oil whirl dapat disebabkan oleh :

- Desain bearing tidak sesuai dengan beban statik poros yang terlalu kecil
- Kerenggangan (clearance) antara poros dengan bearing terlalu besar disebabkan keausan bearing.
- Bertambahnya tekanan minyak pelumas.
- Bertambahnya viskositas minyak pelumas.

Adakalanya indikasi getaran oil whirl (frekuensi 45% rpm) pada bearing terjadi bukan karena penyebab itu sesungguhnya, tetapi disebabkan oleh vibrasi "background " sekitar mesin yang kebetulan frekuensinya sama dengan ciri yang dimiliki oleh oil whirl. Misalnya ada mesin di sekitar yang putarannya setengah dari putaran mesin yang diamati.

Selain dari pada itu bisa juga terjadi resonansi pada pipa atau pondasi mesin yang ditimbulkan oleh turbolensi aliran fluida.

Jadi sebelum memutuskan getaran yang disebabkan oleh oil whirl perlu dilakukan pemeriksaan vibrasi lain disekitarnya.

3.5.11. Getaran karena gesekan (rubbing)

Gesekan antara bagian yang berputar dengan bagian yang tetap disebut rubbing. Gesekan ini bisa terjadi secara terputus-putus (intermitent) atau secara terus menerus (continue) selam berputar.

Vibrasi yang ditimbulkannya dapat diketahui dengan cara sebagai berikut :

Misal putaran turbin uap pada 3000 rpm mempunyai amplitude dan sudut fase pada besaran tertentu. Jika putaran diturunkan menjadi 1500 rpm maka amplitude dan (atau) sudut fase tersebut besarnya tidak sama lagi dengan pengukuran pada putaran 3000 rpm sebelumnya , maka dapat disimpulkan bahwa rotor turbin terjadi gesekan (rubbing) dengan stator, atau poros dengan labirin-labirinnya.

Frekuensi getaran bisa $2 \times \text{rpm}$, atau tinggi sekali jika disertai resonansi pada bagian-bagian yang bergerak.

3.5.12. Vibrasi karena menambahkan (beat)

Vibrasi ini terjadi karena adanya gaya-gaya vibrasi yang saling menjumlahkan dan saling mengurangi secara berulang, dari dua buah atau

beberapa mesin yang berdekatan di atas satu rangka pondasi yang sama. Kejadian ini biasanya terjadi jika putaran mesin-mesin itu tidak sama.

Misalkan ada dua buah pompa diatas satu rangka pondasi mempunya putaran 3000 rpm dan 2500 rpm. Maka vibrasi masing-masing pompa akan saling berinteraksi satu sama lainnya.

Gaya sentrifugal kedua pompa pada saat tertentu mempunyai arah yang sama tetapi juga mempunyai arah yang berlawanan pada saat lainnya. Hal ini dikarenakan putaran kedua pompa tersebut tidak sama besar, sehingga pompa yang putarannya lebih tinggi mempunyai putaran relatif terhadap pompa yang putarannya lebih rendah. Dengan demikian pada posisi putaran rotor tertentu gaya sentifugal keduanya akan searah dan pada posisi lainnya akan berlawanan.

Frekuensi getaran yang ditimbulkan oleh masalah ini adalah penjumlahan kedua putaran atau selisihnya.

3.6. Vibration Severity.

Vibration severity dapat diartikan secara bebas sebagai tingkat keparahan suatu getaran. Tingkat keparahan ini bersifat relatif, karena sangat bergantung dari jenis dan karakter dari setiap mesin. Sebagai contoh, mesin bolak-balik tentu mempunyai tolak ukur keparahan yang secara kuantitas lebih besar dari pada mesin rotasi.

Setiap pengukuran getaran selalu menghasilkan data. Data tersebut baru dapat bermanfaat apabila ada suatu tolak ukur untuk memberi arti pada data

tersebut, misalnya apakah getaran yang terjadi sudah mencapai tingkat yang membahayakan atau belum.

Pengalaman menunjukkan bahwa pengukuran kecepatan getaran memberikan indikasi yang terbaik tentang vibration severity dalam daerah kerja 10 Hz sampai 1000 Hz. Bila simpangan atau percepatan yang diperoleh dari pengukuran, maka biasanya diperlukan frekuensinya untuk dapat menyatakan severitynya. Pengukuran simpangan umumnya dipakai untuk getaran frekuensi rendah (dibawah 10 Hz), sedang pengukuran percepatan untuk getaran frekuensi tinggi (diatas 1000 Hz). Evaluasi dapat dilakukan, yang terbaik dengan membandingkan getaran yang terukur pada mesin dengan tolak ukur ambang batas yang disyaratkan oleh pabrik pembuatnya.

Bila ambang batas dari pabrik tidak ada, maka dapat digunakan "vibration severity chart" yang berlaku untuk mesin-mesin yang umum. Sebagai contoh dapat dilihat gambar severity chart pada lampiran yang dikeluarkan oleh Yates dan IRD Mechanalysis Inc. yang umum untuk pengukuran getaran pada rumah bantalan.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran getaran yang dilakukan pada komponen-komponen peralatan yang menyusun sistem instalasi pompa BFP, yang mana pengukuran getaran tersebut meliputi pengukuran getaran pada motor penggerak pompa, gear box, dan pompa BFP. Maka dari data-data pengukuran tersebut dapat dianalisa sebagai berikut :

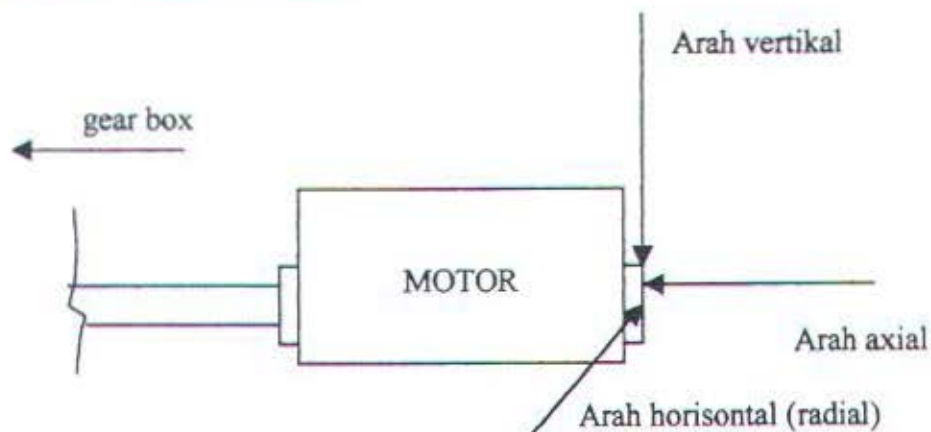
4.1. Motor Penggerak Pompa

Spesifikasi dari motor penggerak pompa

- Daya : 2960 KW
- Rpm : 1480 rpm
- Pole : 4
- Frek. Jala-jala : 50 Hz

Pengukuran getaran motor penggerak pompa dilakukan pada dua sisi yaitu :

4.1.1. Pada sisi out board motor .



Gambar 4.1
Pengukuran motor pada sisi out board

- Pengukuran I motor out board arah horisontal (MOH) diketahui :

Order	: 1,003
Rpm	: 1495
Rps	: 24,92
Frekuensi	: 25 Hz
PK-Velocity	: 0.351 mm/sec

Untuk mengetahui apakah getaran dengan PK-velocity 0,351 mm/sec aman dari batas keparahan getaran yang diijinkan maka harga PK-velocity perlu dikonversikan kesatuan in/sec.

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 0,351 \text{ mm/sec} = 0,351 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,01382 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga tersebut diatas kemudian diplotkan pada " Vibration Saverity Charts ", dan dari sini dapat diketahui bahwa getaran pada motor out board arah horizontal (MOH) dengan PK-velocity = 0,01382 in/mm masih dalam daerah " smooth ".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.1.1.(lampiran).

- Pengukuran I motor out board arah vertikal (MOV) diketahui :

Order	: 1,004
Rpm	: 1494
Rps	: 24,90
Frekuensi	: 25,00 Hz
PK-Velocity	: 0,331 mm/sec

Dengan cara yang sama harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec didapat:

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 0,331 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,013 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration savority Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,013 in/sec masih dalam daerah "smooth".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.1.2. (lampiran)

➤ Pengukuran I motor out board arah axial (MOA) diketahui :

Order	: 1,005
Rpm	: 1492
Rps	: 24,87
Frekuensi	: 25,00 Hz
PK-Velocity	: 0,351 mm/sec

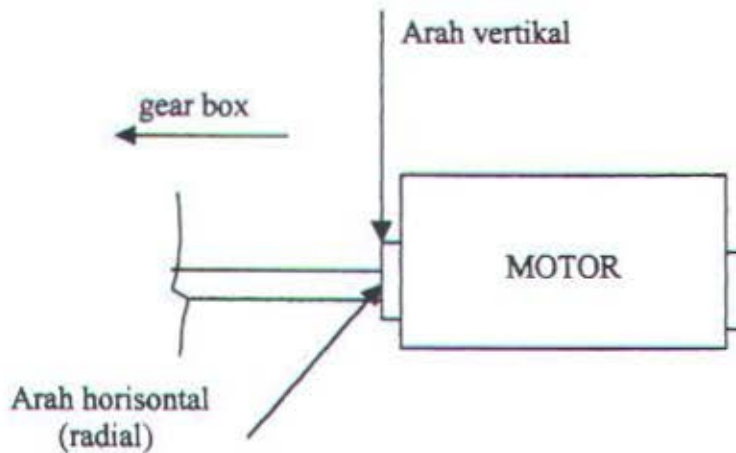
Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 0.351 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,01382 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration savority Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,01382 in/sec masih dalam daerah "smooth".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.1.3. (lampiran).

4.1.2. Pada sisi in board motor.



Gambar 4.2
Pengukuran motor pada sisi in board

➤ Pengukuran I motor in board arah horisontal (MIH) diketahui :

Order : 1,007

Rpm : 1489

Rps : 24,81

Frekuensi : 25,00 Hz

PK-Velocity : 0.921 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 0.921 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0363 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan “vibration savority Charts” dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,0363 in/sec masih dalam daerah “very good”.

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.1.4. (lampiran).

➤ Pengukuran motor out board arah vertikal (MIV) diketahui :

Order : 1,008
Rpm : 1488
Rps : 24,80
Frekuensi : 25,00 Hz
PK-Velocity : 1,315 mm/sec



Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 1.315 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0.0518 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration savority Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0.0518 in/sec masih dalam daerah "good".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.1.5. (lampiran).

4.2. Pompa BFP

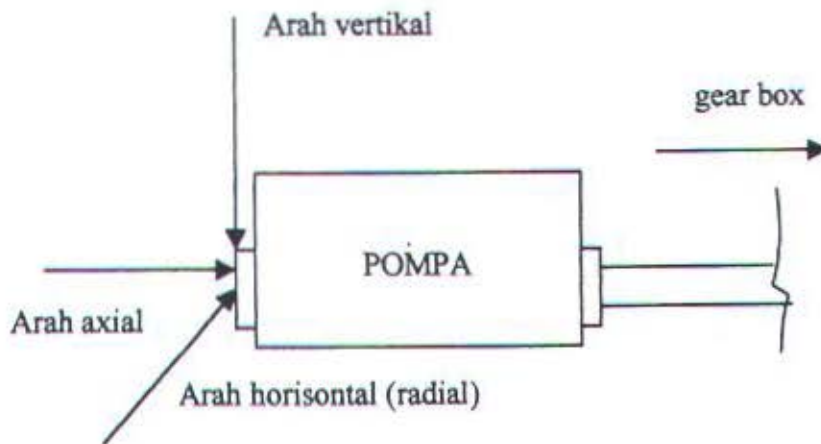
Spesifikasi pompa BFP

- ♦ Jenis : Centifugal multistage
- ♦ Jumlah stage : 5 stage
- ♦ Kapasitas : 365 ton/h
- ♦ RPM : 7250
- ♦ Req. NPSH : 32 m
- ♦ Av. NPSH : Approx. 15 m
- ♦ Discharge pressure : 202.5/14 kg/cm²G

- ♦ Suction pressure : 14/10 kg/cm²G.
- ♦ Min. flow : 110 ton/h.

Pengukuran getaran pompa BFP dilakukan pada dua sisi yaitu :

4.2.1. Pada sisi out board pompa .



Gambar 4.3
Pengukuran pompa pada sisi out board

➤ Pengukuran I pompa out board arah horisontal (POH) diketahui :

Order	: 9,008
Rpm	: 7361
Rps	: 122,68
Frekuensi	: 1105 Hz
PK-Velocity	: 2.508 mm/sec

Untuk mengetahui apakah getaran dengan PK-velocity 2,508 mm/sec aman dari batas keparahan getaran yang diijinkan maka harga PK-velocity perlu dikonversikan kesatuan in/sec.

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 2,508 \text{ mm/sec} = 2,508 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0987 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga tersebut diatas kemudian diplotkan pada “ Vibration Saverity Charts ”, dan dari sini dapat diketahui bahwa getaran pada pompa out board arah horizontal (POH) dengan PK-velocity = 0,0987 in/mm masih dalam daerah “ fair ”.

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.2.1.(lampiran).

➤ Pengukuran I pompa out board arah vertikal (POV) diketahui :

Order	: 8,972
Rpm	: 7356
Rps	: 122,61
Frekuensi	: 1100 Hz
PK-Velocity	: 3,753 mm/sec

Dengan cara yang sama harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec didapat:

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 3.753 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,1478 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan “vibration saverity Charts” dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,1478 in/sec masih dalam daerah “ fair ”.

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.2.2. (lampiran)

➤ Pengukuran I pompa out board arah axial (POA) diketahui :

Order	: 8,980
Rpm	: 7350
Rps	: 122,50

Frekuensi : 1100 Hz

PK-Velocity : 3,665 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

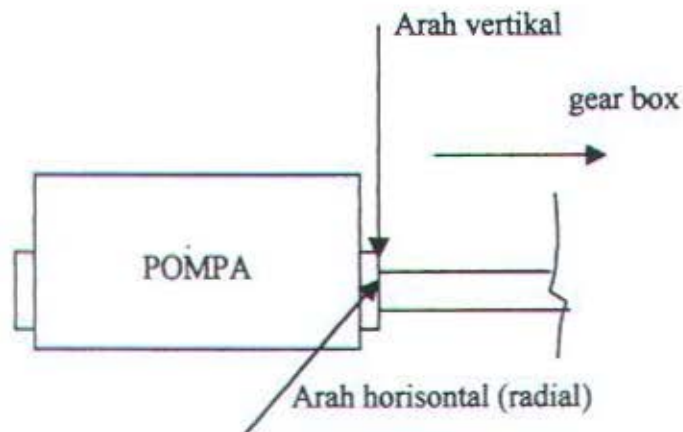
$$\text{PK-velocity} = 3.665 / 25,4 \text{ in/sec}$$

$$= 0,1443 \text{ in/sec.}$$

Harga ini setelah dicek dengan “vibration savority Charts” dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,1443 in/sec masih dalam daerah “ fair ”.

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.2.3. (lampiran).

4.2.2. Pada sisi in board pompa .



Gambar 4.4
Pengukuran pompa pada sisi in board

➤ Pengukuran I pompa in board arah horisontal (PIH) diketahui :

Order : 5,014

Rpm : 7359

Rps : 122,65

Frekuensi : 615 Hz

PK-Velocity : 15.78 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\text{PK-velocity} = 15.78 / 25,4 \text{ in/sec}$$

$$= 0,6213 \text{ in/sec.}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration savority Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,6213 in/sec sudah masuk dalam daerah "rough"..

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.2.4. (lampiran).

➤ Pengukuran I pompa in board arah vertikal (PIV) diketahui :

Order : 1,004

Rpm : 7352

Rps : 122,54

Frekuensi : 123 Hz

PK-Velocity : 1,912 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\text{PK-velocity} = 1.912 / 25,4 \text{ in/sec}$$

$$= 0.0753 \text{ in/sec.}$$

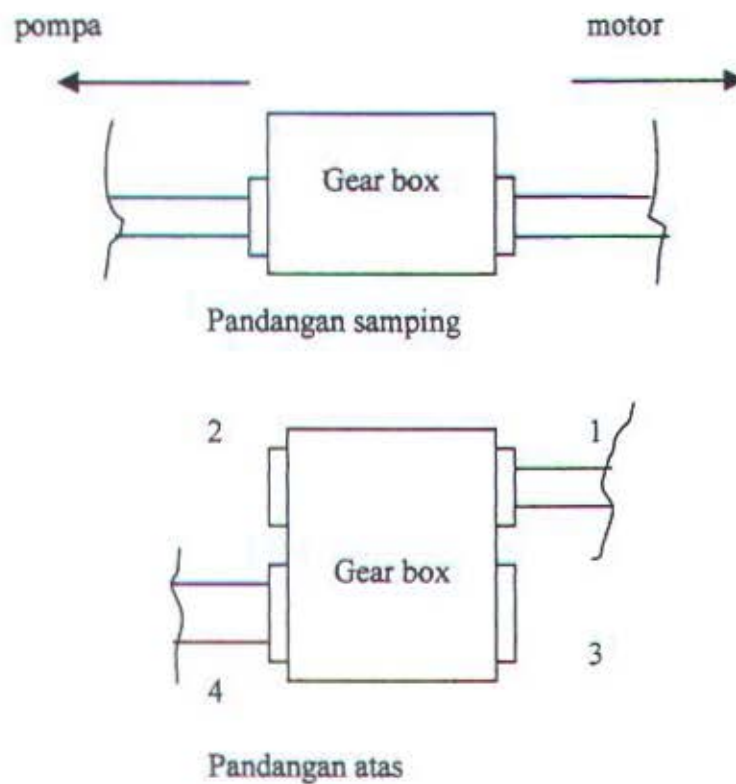
Harga ini setelah dicek dengan "vibration savority Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0.0753 in/sec masih dalam daerah "good".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.2.5. (lampiran).

4.3. Gear Box

Pengukuran getaran gear box dilakukan pada 4 titik yaitu :

4.3.1. Gear box titik 1 .



Gambar 4.5
Pengukuran gear box

➤ Pengukuran I gear box titik 1 arah horisontal (G1H) diketahui :

Order	: 148,06
Rpm	: 1491
Rps	: 24,85
Frekuensi	: 3678.83 Hz
PK-Velocity	: 1.491 mm/sec

Untuk mengetahui apakah getaran dengan PK-velocity 1,491 mm/sec aman dari batas keparahan getaran yang diijinkan maka harga PK-velocity perlu dikonversikan kesatuan in/sec.

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 1,491 \text{ mm/sec} = 1,491 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0587 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga tersebut diatas kemudian diplotkan pada " Vibration Saverity Charts ", dan dari sini dapat diketahui bahwa getaran pada gear box titik 1 arah horizontal (G1H) dengan PK-velocity = 0,0587 in/mm masih dalam daerah " good ".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.1.(lampiran).

➤ Pengukuran I gear box titik 1 arah vertikal (G1V) diketahui :

Order	: 147,94
Rpm	: 1490
Rps	: 24,84
Frekuensi	: 3675 Hz
PK-Velocity	: 0,539 mm/sec

Dengan cara yang sama harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec didapat:

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 0.539 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0212 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration saverity Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,0212 in/sec masih dalam daerah " very good ".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.2. (lampiran)

4.3.2. Gear Box Titik 2.

➤ Pengukuran I gear box titik 2 arah horisontal (G2H) diketahui :

Order	:5,047
Rpm	: 1471
Rps	: 24,52
Frekuensi	: 123.75 Hz
PK-Velocity	: 1,298 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 1.298 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0511 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration saverity Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,0511 in/sec masih dalam daerah "good".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.3. (lampiran).

➤ Pengukuran I gear box titik 2 arah vertikal (G2V) diketahui :

Order	: 5,017
Rpm	: 1480
Rps	: 24,67
Frekuensi	: 123.75 Hz
PK-Velocity	: 0.566 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 0.566 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0223 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration saverity Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,0223 in/sec masih masuk dalam daerah "very good"..

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.4. (lampiran).

➤ Pengukuran I gear box titik 2 arah aksial (G2A) diketahui :

Order	: 5,017
Rpm	: 1480
Rps	: 24,67
Frekuensi	: 123.75 Hz
PK-Velocity	: 0,912 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 0.912 / 25,4 \text{ in/sec} \\ 1 &= 0.0359 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration saverity Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0.0359 in/sec masih dalam daerah "very good".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.5. (lampiran).

4.3.3. Gear Box Titik 3.

➤ Pengukuran I gear box titik 3 arah horisontal (G3H) diketahui :

Order	: 1,011
Rpm	: 7419
Rps	: 123.46
Frekuensi	: 125 Hz
PK-Velocity	: 0.982 mm/sec

Untuk mengetahui apakah getaran dengan PK-velocity 0,982 mm/sec aman dari batas keparahan getaran yang diijinkan maka harga PK-velocity perlu dikonversikan kesatuan in/sec.

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 0,982 \text{ mm/sec} = 0,982 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0387 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga tersebut diatas kemudian diplotkan pada " Vibration Saverity Charts ", dan dari sini dapat diketahui bahwa getaran pada gear box titik 3 arah horisontal (G3H) dengan PK-velocity = 0,0387 in/mm masih dalam daerah "very good".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.6.(lampiran).

➤ Pengukuran I gear box titik 3 arah vertikal (G3V) diketahui :

Order	: 1,012
Rpm	: 7411
Rps	: 123,510
Frekuensi	: 125 Hz
PK-Velocity	: 0,601 mm/sec

Dengan cara yang sama harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec didapat:

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 0.601 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0237 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration savority Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,0237 in/sec masih dalam daerah "very good".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.7. (lampiran)

4.3.4. Gear Box Titik 4.

➤ Pengukuran I gear box titik 4 arah horisontal (G4H) diketahui :

Order	:29,95
Rpm	: 7362
Rps	: 122,70
Frekuensi	: 3675 Hz
PK-Velocity	: 1,166 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 1.166 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0459 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration savority Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,0459 in/sec masih dalam daerah "good".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.8. (lampiran).

➤ Pengukuran I gear box titik 4 arah vertikal (G4V) diketahui :

Order : 29,73

Rpm : 7416

Rps : 123,59

Frekuensi : 3675 Hz

PK-Velocity : 1.184 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 1.184 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0,0466 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration savority Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0,0466 in/sec masih masuk dalam daerah " good"..

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.9. (lampiran).

➤ Pengukuran I gear box titik 4 arah aksial (G4A) diketahui :

Order : 8,968

Rpm : 7359

Rps : 122.66

Frekuensi : 1100 Hz

PK-Velocity : 3,157 mm/sec

Harga PK-velocity setelah dikonversikan kesatuan in/sec :

$$\begin{aligned}\text{PK-velocity} &= 3.157 / 25,4 \text{ in/sec} \\ &= 0.1243 \text{ in/sec.}\end{aligned}$$

Harga ini setelah dicek dengan "vibration severity Charts" dapat diketahui bahwa harga PK-velocity 0.1243 in/sec masih dalam daerah "fair".

Untuk pengukuran selanjutnya dilakukan analisa yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.3.10. (lampiran).

4.4. Penentuan Komponen-Komponen Peralatan Pada Sistem Instalasi Boiler Feed Pump Yang Paling Kritis.

Dengan melihat kondisi getaran pada setiap komponen peralatan dalam sistem instalasi boiler feed pump pada setiap pengukuran (tabel 4.1.1. sampai dengan tabel 4.3.10. lampiran) dapat dilihat bahwa motor penggerak pompa dan gear box adalah komponen peralatan yang jarang sekali mengalami kerusakan.

Sedangkan untuk pompa BFP dapat dilihat bahwa kondisi getarannya sudah memasuki daerah kasar (rough) pada setiap kali pengukurannya. Sehingga pompa BFP dapat digolongkan sebagai peralatan yang kritis atau sering mengalami kerusakan dibandingkan motor penggerak pompa dan gear box.

4.5. Prediksi Waktu Atau Umur Peralatan

Karena pompa BFP merupakan komponen peralatan pada sistem instalasi boiler feed pump yang kritis dibandingkan motor penggerak dan gear box, maka dilakukan prediksi umur pompa atau berapa lama lagi pompa BFP tersebut akan mengalami kerusakan.

Dari tingkat atau level getaran pada setiap kali pengukuran dan arah pengukuran masing-masing digambarkan grafiknya, kemudian dicari trend grafiknya. Untuk mendekati kebenaran trend garafik yang telah dibuat disini diambil nilai regresinya yang harganya mendekati 1.

Dengan bantuan **Microsoft Excel 97** trend grafik dan persamaan garis trendnya dapat diketahui sekaligus dengan nilai regresinya.

Pada pengukuran pompa out board diketahui ada 3 persamaan :

Pompa out board horisontal (POH) :

$$Y = 2 \cdot 10^{-13} x^5 - 3 \cdot 10^{-10} x^4 + 1 \cdot 10^{-7} x^3 - 2 \cdot 10^{-5} x^2 + 0.0008 x + 0.0991$$

$$R^2 = 0,8579$$

Pompa out board vertikal (POV) :

$$Y = -6 \cdot 10^{-14} x^5 + 1 \cdot 10^{-10} x^4 - 7 \cdot 10^{-8} x^3 + 2 \cdot 10^{-5} x^2 - 0.002 x + 0.1472$$

$$R^2 = 0,6566$$

Pompa out board aksial (POA) :

$$Y = -4 \cdot 10^{-13} x^5 + 6 \cdot 10^{-10} x^4 - 3 \cdot 10^{-7} x^3 + 5 \cdot 10^{-5} x^2 - 0.0024 x + 0.1458$$

$$R^2 = 0,9645$$

Untuk menyelesaikan ke-3 persamaan pompa out board diatas, diperlukan bantuan software **Mathcad Version 7.0**.

Dengan memasukkan nilai fault sebagai nilai Y yaitu 0.628 maka nilai X dapat diketahui.

Pompa out board horisontal (POH) :

$$Y = 2 \cdot 10^{-13} x^5 - 3 \cdot 10^{-10} x^4 + 1 \cdot 10^{-7} x^3 - 2 \cdot 10^{-5} x^2 - 0.0008 x + 0.0991$$

$$Y = 0,628$$

$$X = -258,37121878054342172$$

Pompa out board vertikal (POV) :

$$Y = -6 \cdot 10^{-14} x^5 + 1 \cdot 10^{-10} x^4 - 7 \cdot 10^{-8} x^3 + 2 \cdot 10^{-5} x^2 - 0.002 x + 0.1472$$

$$Y = 0,628$$

$$X = -100,02344359172924586$$

Pompa out board aksial (POA) :

$$Y = -4 \cdot 10^{-13} x^5 + 6 \cdot 10^{-10} x^4 - 3 \cdot 10^{-7} x^3 + 5 \cdot 10^{-5} x^2 - 0.0024 x + 0.1458$$

$$Y = 0,628$$

$$X = -66,573245879281726525$$

Dari ke-3 persamaan diatas nilai X-nya adalah negatif. Jadi untuk persamaan pompa out board tidak digunakan untuk memprediksi umur peralatan.

Pada pengukuran pompa in board diketahui ada 2 persamaan :

Pompa in board horisontal (PIH) :

$$Y = 2 \cdot 10^{-10} x^4 - 2 \cdot 10^{-7} x^3 + 6 \cdot 10^{-5} x^2 - 0.0059 x + 0.6014$$

$$R^2 = 0,9099$$

Pompa in board vertikal (PIV) :

$$Y = 5 \cdot 10^{-8} x^3 - 5 \cdot 10^{-5} x^2 + 0.011 x + 0.0737$$

$$R^2 = 0,95$$

Untuk menyelesaikan persamaan pompa in board horisontal (PIH) dan pompa in board vertikal (PIV) diatas, diperlukan bantuan software **Mathcad Version 7.0**.

Dengan cara yang sama seperti diatas yaitu dengan memasukkan nilai fault sebagai nilai Y yaitu 0.628 maka nilai X dapat diketahui.

Pompa in board horisontal (PIH) :

$$Y = 2 \cdot 10^{-10} x^4 - 2 \cdot 10^{-7} x^3 + 6 \cdot 10^{-5} x^2 - 0.0059 x - 0.6014$$

$$Y = 0,628$$

$$X_1 = 557,67234843617333124$$

$$X_2 = -4,3162768122450974$$

$$X_3 = 223,32196418803588308 - 73,356928212137547743i$$

$$X_4 = 223,32196418803588308 - 73,356928212137547743i$$

Untuk pompa in board horisontal (PIH) harga X yang diambil adalah

$$X_1 = 557,67234843617333124.$$

Pompa in board vertikal (PIV) :

$$Y = 5 \cdot 10^{-8} x^3 - 5 \cdot 10^{-5} x^2 + 0.011 x + 0.0737$$

$$Y = 0,628$$

$$X_1 = 713,4002434105797968$$

$$X_2 = 72,623211483208433895 - 9 \cdot 10^{-18} \cdot 1i$$

$$X_3 = 213,97654510621176931 + 9 \cdot 10^{-18} \cdot 1i$$

Untuk pompa in board vertikal (PIV) harga X yang diambil adalah

$$X_1 = 713,4002434105797968$$

Dari ke-2 persamaan diatas terlihat bahwa nilai X yang telah diambil, untuk persamaan pompa in board horisontal (PIH) mempunyai nilai lebih kecil dari pada nilai X persamaan pompa in board vertikal (PIV) dan dengan melihat trend garis dari tingkat getaran pompa in board horisontal (PIH) yang makin

meningkat maka disini diambil nilai X dari persamaan pompa in board horisontal (PIH) untuk memprediksi umur peralatan .

Jika dihitung dari tanggal pengukuran yang pertama 21 Januari 1998 maka pompa BFP diprediksi akan mengalami kerusakan selama 558 hari. Atau dapat dikatakan sisa umur pompa BFP akan mengalami kerusakan jika dihitung dari pengukuran terakhir 1 Juli 1999 adalah tinggal 33 hari lagi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 5.1.1. Dari komponen-komponen peralatan yang menyusun sistem instalasi feed water pump atau boiler feed pump yang terdiri dari pompa BFP, gear box dan motor penggerak pompa BFP, komponen peralatan yang kritis atau sering mengalami kerusakan adalah pompa BFP.
- 5.1.2. Jika dihitung dari tanggal pengukuran yang pertama 21 Januari 1998 maka pompa BFP diprediksi akan mengalami kerusakan selama 558 hari. Atau dapat dikatakan sisa umur pompa BFP akan mengalami kerusakan jika dihitung dari pengukuran terakhir 1 Juli 1999 adalah tinggal 33 hari lagi.
- 5.1.3. Dengan melihat trend garis dari tingkat getaran pompa in board arah horisontal (PIH) yang makin meningkat maka untuk memprediksi umur pompa BFP digunakan persamaan pompa in board horisontal (PIH).

5.2. Saran

Karena dalam tugas akhir ini tidak menganalisa dan mengidentifikasi penyebab atau jenis kerusakan yang terjadi pada pompa boiler feed pump (BFP) melalui efek getaran yang ditimbulkan maka tugas akhir ini dapat dikembangkan lagi dengan membahas penyebab atau jenis kerusakan pada pompa BFP melalui efek getaran yang ditimbulkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. *IRD Mechanalysis Advaced Training Program* , IRD Mechanalysis Inc. Columbus.
2. *Predictive Maintenance, Obyek Pemantauan*, Indra Nurhadi, Andi Isra Mahyuddin, Kosala Purwa Nugraha. Tim pelaksana kerja sama PLN-ITB, Bandung 1994.
3. *Predictive Maintenance, Teknik Pengukuran*, Komang Bagiasna, Zainal Abidin, Andi Isra Mahyuddin, Laboratorium dinamika-ilmu rekayasa Pusat Antar Universitas ITB, Bandung 1994.
4. *Vibration Analysis for Predictive Maintenance : A Classical Case History*, Stephen L. Hofmann, Marine Technology Vol. 24 No. 4, October 1987.
5. *Machinery Vibration Analysis As A Planning Tool for Ships in A Five-Year Maintenance Life-Cycle*, Michael J. Schwaebe, Naval Engineers Journal, February 1980.
6. *Materi Kursus Analisa Vibrasi* , PT. PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan, Jakarta Selatan 1998.
7. *Panduan Pemeliharaan Prediktip Pembangkit, Teknik Pemantauan* , Direktorat Operasi PT. PLN (Persero), Jakarta 1999.
8. *Predictive Maintenance, Statistik Operasi dan Pemeliharaan* , Ir. Ukon S, PT. PLN (Persero), Jakarta.



9. *Penerapan Predictive Maintenance di PLTU Gresik*, Ir. A. Firmanto, H.S. Sari, PT. PLN (Persero) Pembangkitan dan Penyaluran Jawa Bagian Timur dan Bali Sektor Gresik, Oktober 1994.

LAMPIRAN A

4.1.1. Pengukuran motor out board horizontal (MOH)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	1.003	1495	24.92	25.00	0.0138	smooth
05-Mar-98	43	1.000	1494	24.91	24.90	0.0141	smooth
18-Sep-98	240	1.003	1495	24.92	25.00	0.0132	smooth
17-Dec-98	330	14.830	1497	24.94	370.00	0.0091	very smooth
06-May-99	469	1.002	1496	24.94	25.00	0.0051	very smooth

4.1.2. Pengukuran motor out board vertikal (MOV)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	1.004	1494	24.9	25.00	0.0130	smooth
05-Mar-98	43	1.005	1493	24.89	25.00	0.0124	smooth
18-Sep-98	240	1.005	1493	24.88	25.00	0.0114	smooth
17-Dec-98	330	1.003	1496	24.93	25.00	0.0075	very smooth
06-May-99	469	0.997	1495	24.91	24.84	0.0093	very smooth

4.1.3. Pengukuran motor out board aksial (MOA)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	1.005	1492	24.87	25.00	0.0138	smooth
05-Mar-98	43	1.005	1492	24.87	25.00	0.0198	very good
18-Sep-98	240	1.005	1492	24.86	25.00	0.0199	very good
17-Dec-98	330	1.003	1495	24.92	25.00	0.0129	smooth
06-May-99	469	1.004	1495	24.91	25.00	0.0151	smooth

4.1.4. Pengukuran motor in board horizontal (MIH)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	1.007	1489	24.81	25.00	0.0363	very good
05-Mar-98	43	0.998	1502	25.04	25.00	0.0102	smooth
18-Sep-98	240	0.997	1505	25.08	25.00	0.0080	very smooth
17-Dec-98	330	3.983	1506	25.11	100.00	0.0041	extremely smooth
06-May-99	469	0.997	1505	25.08	25.00	0.0069	very smooth

4.1.5. Pengukuran motor in board vertikal (MIV)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	1.008	1488	24.8	25.00	0.0518	good
05-Mar-98	43	1.004	1494	24.89	25.00	0.0133	smooth
18-Sep-98	240	1.004	1494	24.91	25.00	0.0138	smooth
17-Dec-98	330	1.003	1495	24.92	25	0.0092	very smooth
06-May-99	469	1.004	1494	24.9	25	0.0137	smooth

4.2.1. Pengukuran pompa out board horizontal (POH)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	9.008	7361	122.68	1105.00	0.0987	fair
05-Mar-98	43	9.023	7348	122.47	1105	0.1077	fair
18-Sep-98	240	3.988	7372	122.86	490.00	0.0960	fair
17-Dec-98	330	5.016	7357	122.61	615	0.1546	fair
06-May-99	469	2	7351	122.52	245	0.0712	good
03-Jun-99	487	3.992	7364	122.74	490	0.0975	fair
01-Jul-99	525	1.016	7385	123.08	125	0.0411	good

4.2.2. Pengukuran pompa out board vertikal (POV)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	8.972	7356	122.61	1100.00	0.1478	fair
05-Mar-98	43	8.985	7379	122.99	1105.00	0.0911	fair
18-Sep-98	240	1.018	7371	122.85	125.00	0.1250	fair
17-Dec-98	330	0.979	7357	122.61	120	0.1153	fair
06-May-99	469	0.980	7350	122.49	120	0.1190	fair
03-Jun-99	487	1.022	7338	122.31	125	0.0387	very good
01-Jul-99	525	1.021	7345	122.42	125	0.0690	good

4.2.3. Pengukuran pompa out board aksial (POA)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	8.98	7350	122.5	1100.00	0.1443	fair
05-Feb-98	15	8.988	7343	122.38	1100.00	0.1243	fair
05-Mar-98	43	9.014	7356	122.59	1105.00	0.1194	fair
18-Sep-98	240	9.003	7364	122.73	1105.00	0.2582	slightly rough
17-Dec-98	330	8.982	7348	122.47	1100	0.1029	fair
06-May-99	469	0.980	7344	122.4	120	0.0690	good
03-Jun-99	487	0.980	7347	122.44	120	0.0351	very good
01-Jul-99	525	8.985	7379	122.98	1105	0.0758	good

4.2.4. Pengukuran pompa in board horizontal (PIH)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	5.014	7359	122.65	615.00	0.6213	rough
05-Feb-98	15	4.98	7349	122.49	610.00	0.4528	rough
05-Mar-98	43	5.013	7360	122.67	615.00	0.5055	rough
18-Sep-98	240	5.008	7369	122.82	615.00	0.3783	rough
17-Dec-98	330	5.015	7357	122.62	615	0.3480	rough
06-May-99	469	4.980	7350	122.49	610	0.0537	good
03-Jun-99	487	5.017	7356	122.59	615	0.1260	fair
01-Jul-99	525	0.081	7389	123.15	10	0.4274	rough

4.3.6. Pengukuran gear box titik 3 horisontal (G3H)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	1.011	7419	123.64	125.00	0.0387	very good
05-Mar-98	43	10.94	7407	123.44	1350.00	0.0425	good
18-Sep-98	240	1.011	7415	123.58	125.00	0.0421	good
17-Dec-98	330	1.011	7419	123.65	125	0.0466	good
06-May-99	469	1.012	7413	123.55	125	0.0410	good

4.3.7. Pengukuran gear box titik 3 vertikal (G3V)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	1.012	7411	123.51	125.00	0.0237	very good
05-Mar-98	43	1.014	7398	123.29	125.00	0.0387	very good
18-Sep-98	240	9.925	7406	123.43	1225.00	0.0483	good
17-Dec-98	330	1.013	7404	123.4	125	0.0287	very good
06-May-99	469	1.013	7405	123.42	125	0.0265	very good

4.3.8. Pengukuran gear box titik 4 horisontal (G4H)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	29.95	7362	122.7	3675.00	0.0459	good
05-Mar-98	43	29.95	7361	122.69	3675.00	0.1339	fair
18-Sep-98	240	29.93	7367	122.78	3675.00	0.1139	fair
17-Dec-98	330	1.019	7358	122.64	125	0.0473	good
06-May-99	469	0.816	7353	122.55	100	0.0254	very good

4.3.9. Pengukuran gear box titik 4 vertikal (G4V)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	29.73	7416	123.59	3675.00	0.0466	good
05-Mar-98	43	30.41	7250	120.83	3675.00	0.0199	very good
18-Sep-98	240	10.92	7421	123.68	1350.00	0.0172	smooth
17-Dec-98	330	10.93	7409	123.48	1350	0.0228	very good
06-May-99	469	0.810	7403	123.39	100	0.0129	smooth

4.3.10. Pengukuran gear box titik 4 aksial (G4A)

Tanggal	Jml Hari	Order	RPM	RPS	Frek.(Hz)	Pk-Vel (in/sec)	Kondisi
21-Jan-98	0	8.968	7359	122.66	1100.00	0.1243	fair
05-Mar-98	43	1.02	7353	122.55	125.00	0.0440	good
18-Sep-98	240	1.019	7359	122.65	125.00	0.0680	good
17-Dec-98	330	5.092	7365	122.75	625	0.2527	slightly rough
06-May-99	469	1.021	7345	122.42	125	0.0690	good

ENGLISH

D = Displacement (mils pk-pk)
 V = Velocity (in/sec pk)
 A = Acceleration (g pk)

$$D = 19.10 \times 10^3 (V) / (\text{RPM})$$

$$D = 70.40 \times 10^6 (A) / (\text{RPM})^2$$

$$V = 52.36 \times 10^6 (D) (\text{RPM})$$

$$V = 3.37 \times 10^3 (A) / (\text{RPM})$$

$$A = 14.20 \times 10^9 (D) (\text{RPM})^2$$

$$A = 0.27 \times 10^3 (V) (\text{RPM})$$

METRIC

D_m = Displacement (μm pk-pk)
 V_m = Velocity (mm/sec pk)
 A_m = Acceleration (g pk)

$$D_m = 19.10 \times 10^3 (V_m) / (\text{RPM})$$

$$D_m = 1.79 \times 10^9 (A) / (\text{RPM})^2$$

$$V_m = 52.36 \times 10^6 (D_m) (\text{RPM})$$

$$V_m = 93.58 \times 10^3 (A) / (\text{RPM})$$

$$A = 0.56 \times 10^9 (D_m) (\text{RPM})^2$$

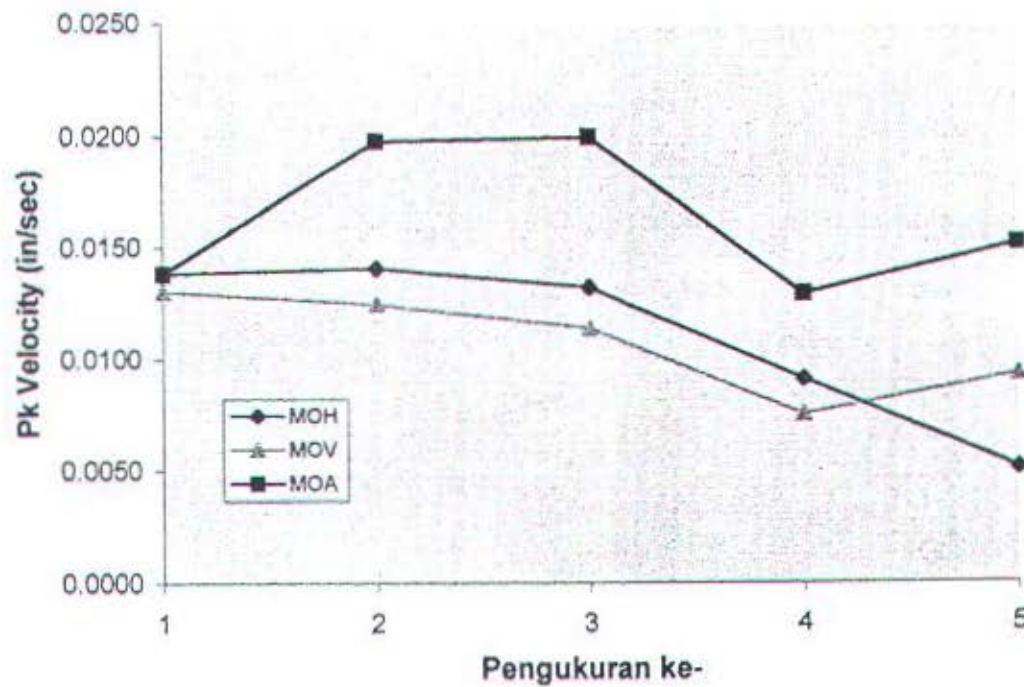
$$A = 10.69 \times 10^6 (V_m) (\text{RPM})$$

Table 2-1

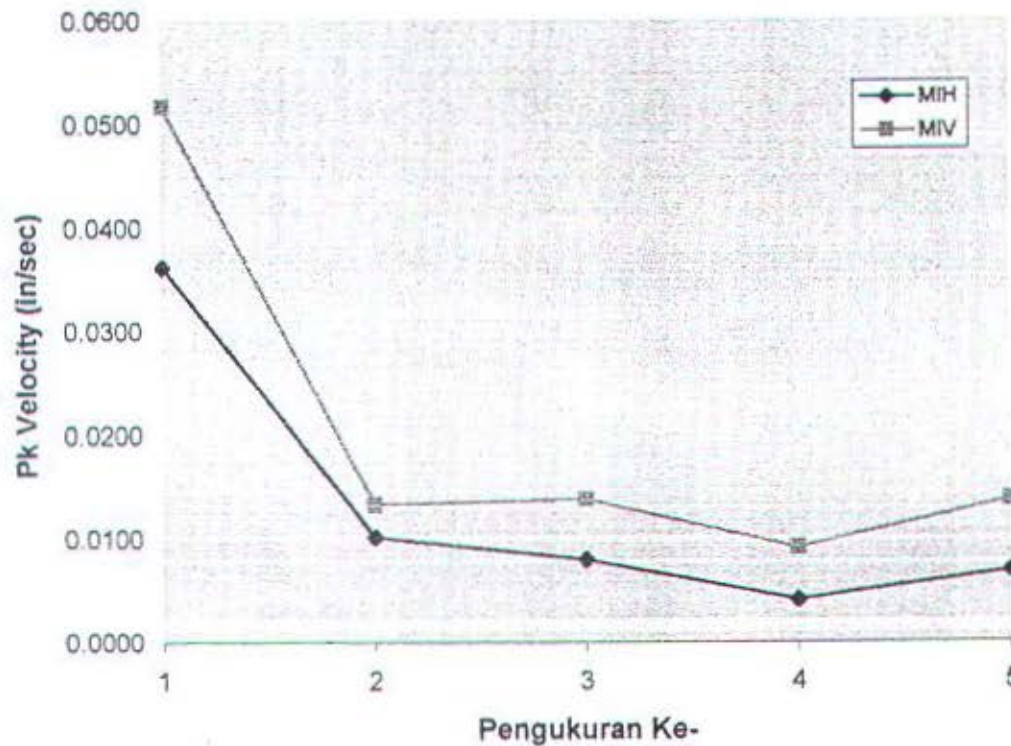
Summary of vibration characteristics and examples of units of measurement

VIBRATION CHARACTERISTICS	COMMON UNITS OF MEASUREMENT	
	ENGLISH	METRIC
FREQUENCY	CPM	CPM
DISPLACEMENT	MILS PEAK TO PEAK	MM PEAK TO PEAK
VELOCITY	IN/SEC RMS	MM/SEC RMS
	IN/SEC PEAK	MM/SEC PEAK
ACCELERATION	G PEAK	G PEAK
PHASE	DEGREES	DEGREES
SPIKE ENERGY	G SE	G SE

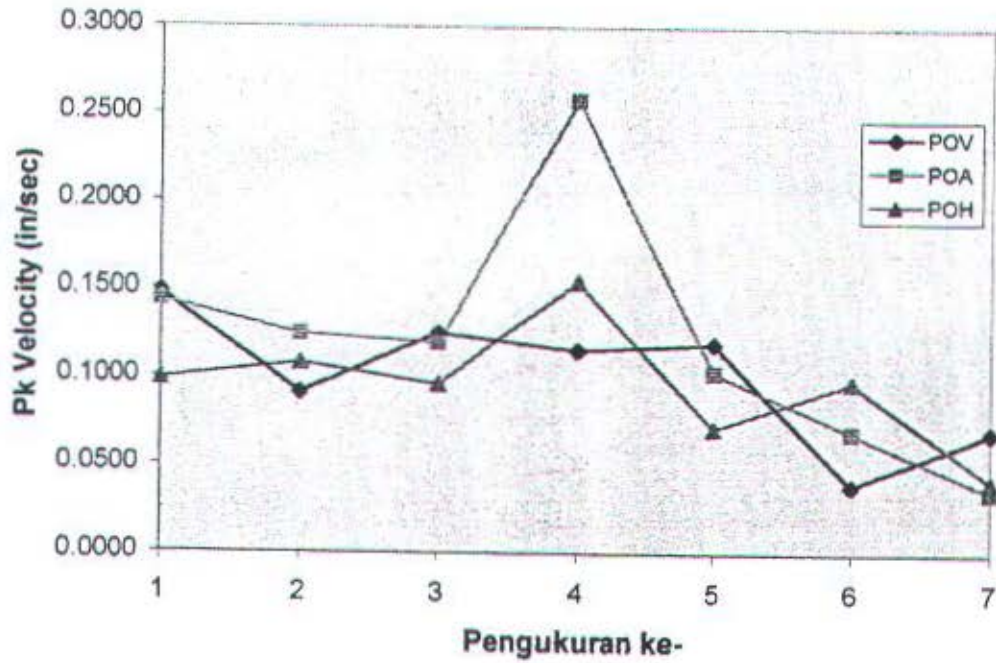
Pengukuran Motor Out Board



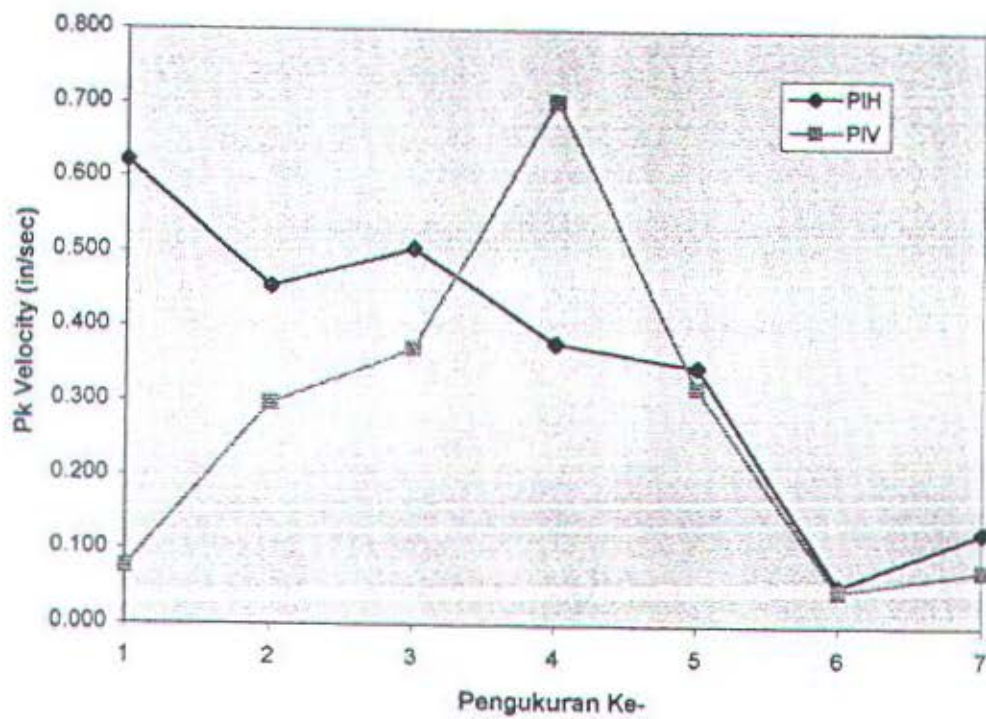
Pengukuran Motor In Board



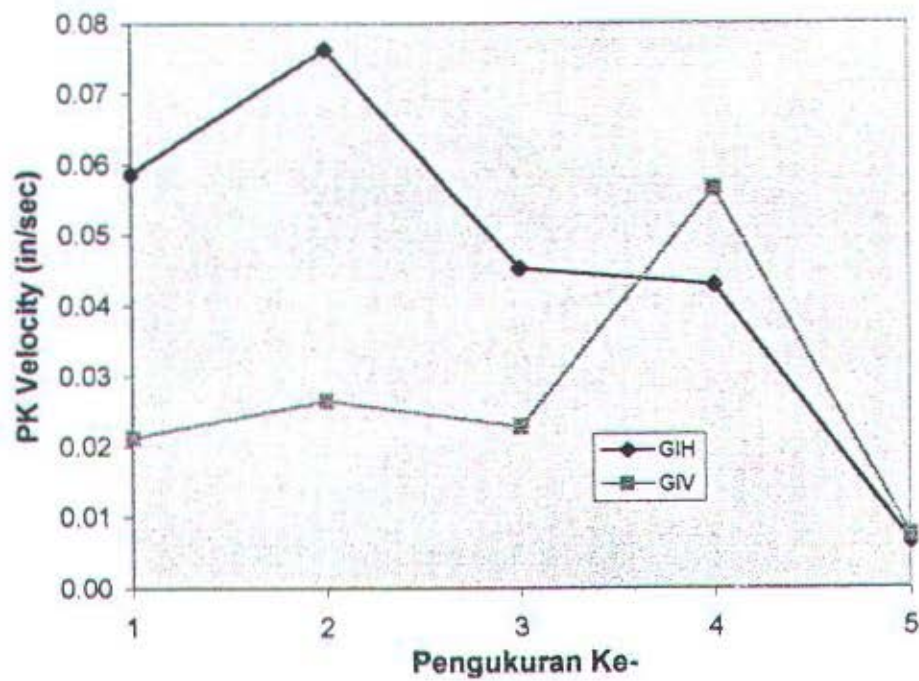
Pengukuran Pompa Out Board



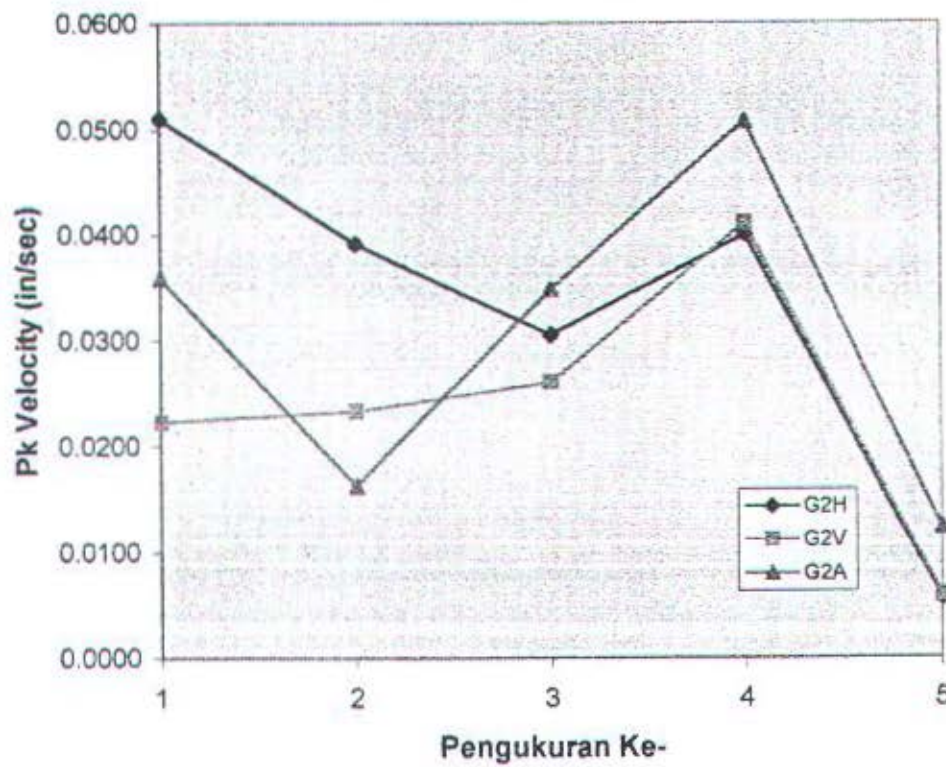
Pengukuran Pompa In Board



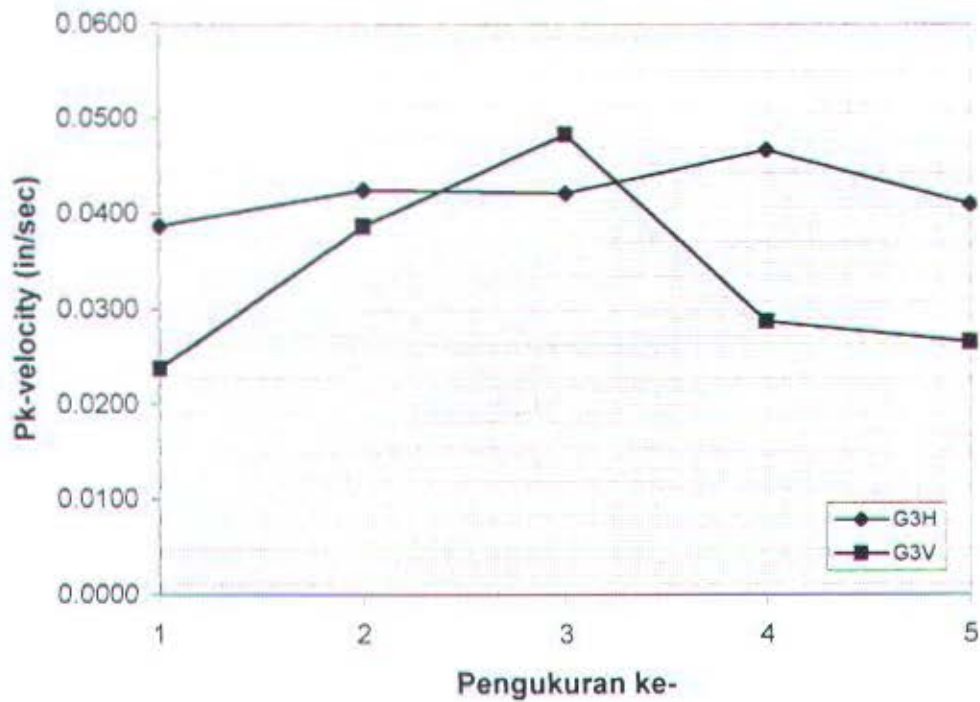
Pengukuran Gear Box 1



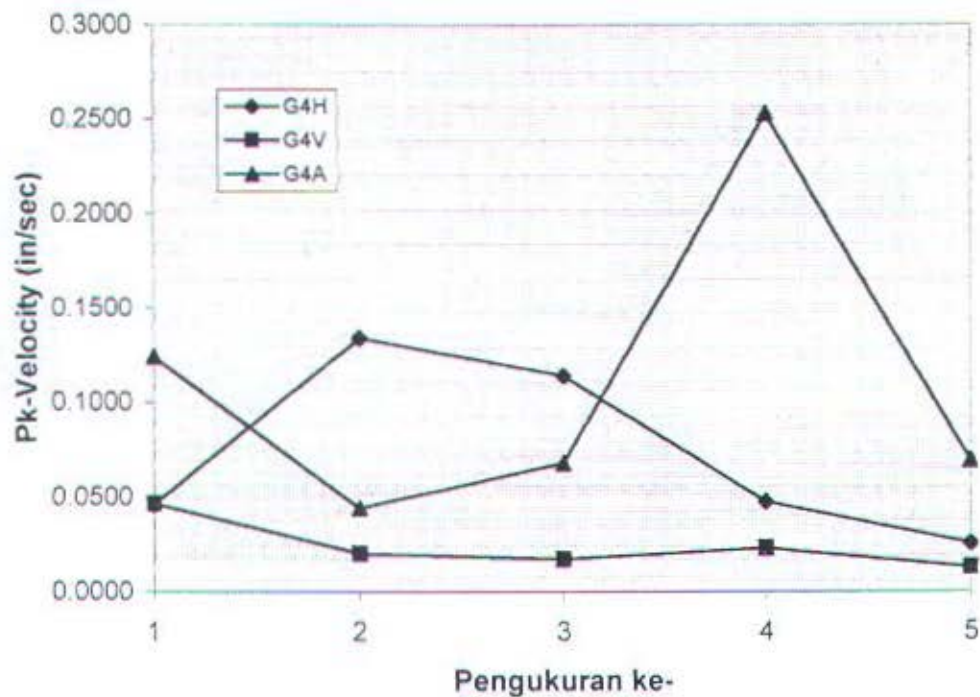
Pengukuran Gear Box Titik 2



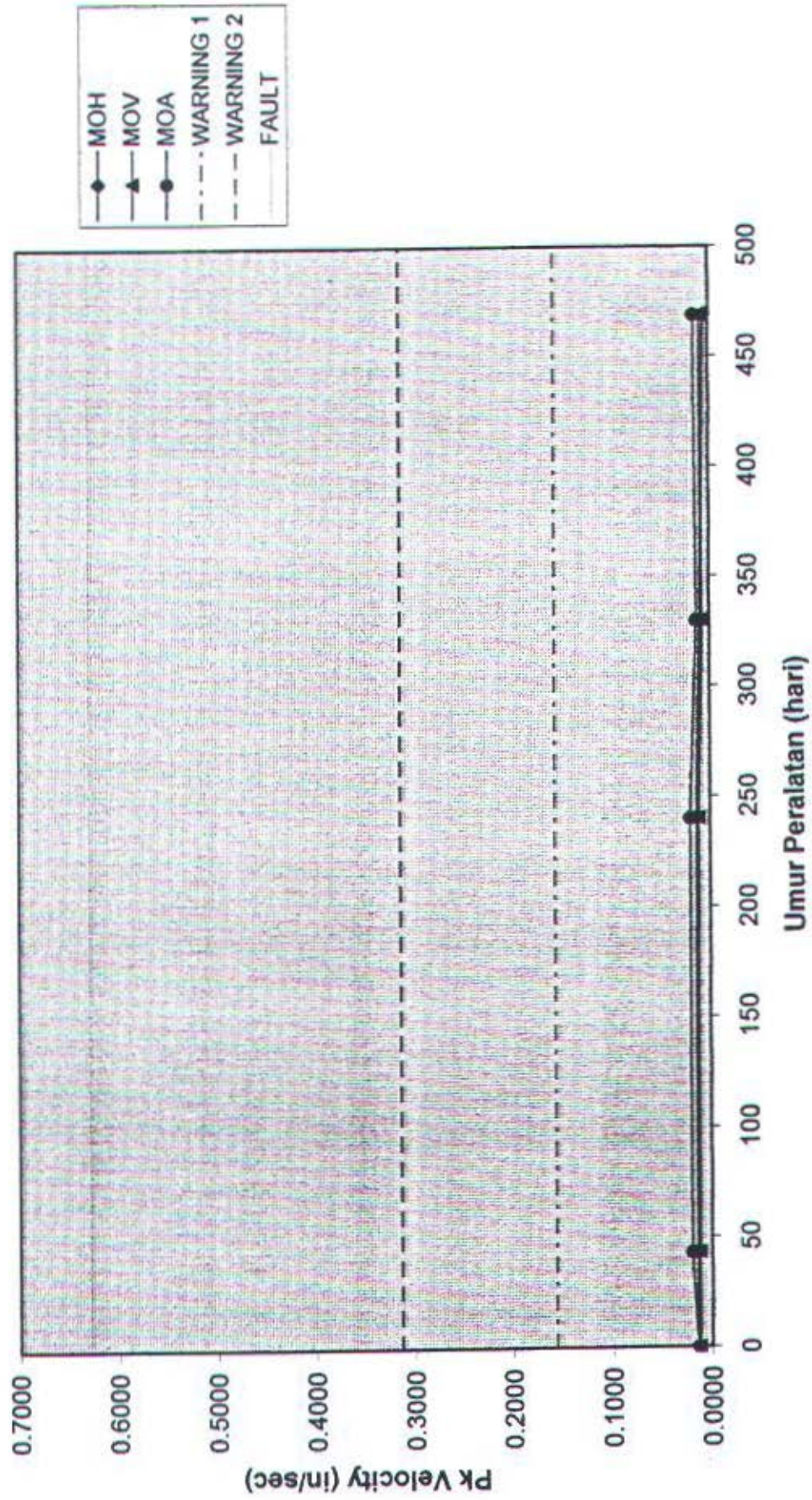
Pengukuran Gear Box Titik 3



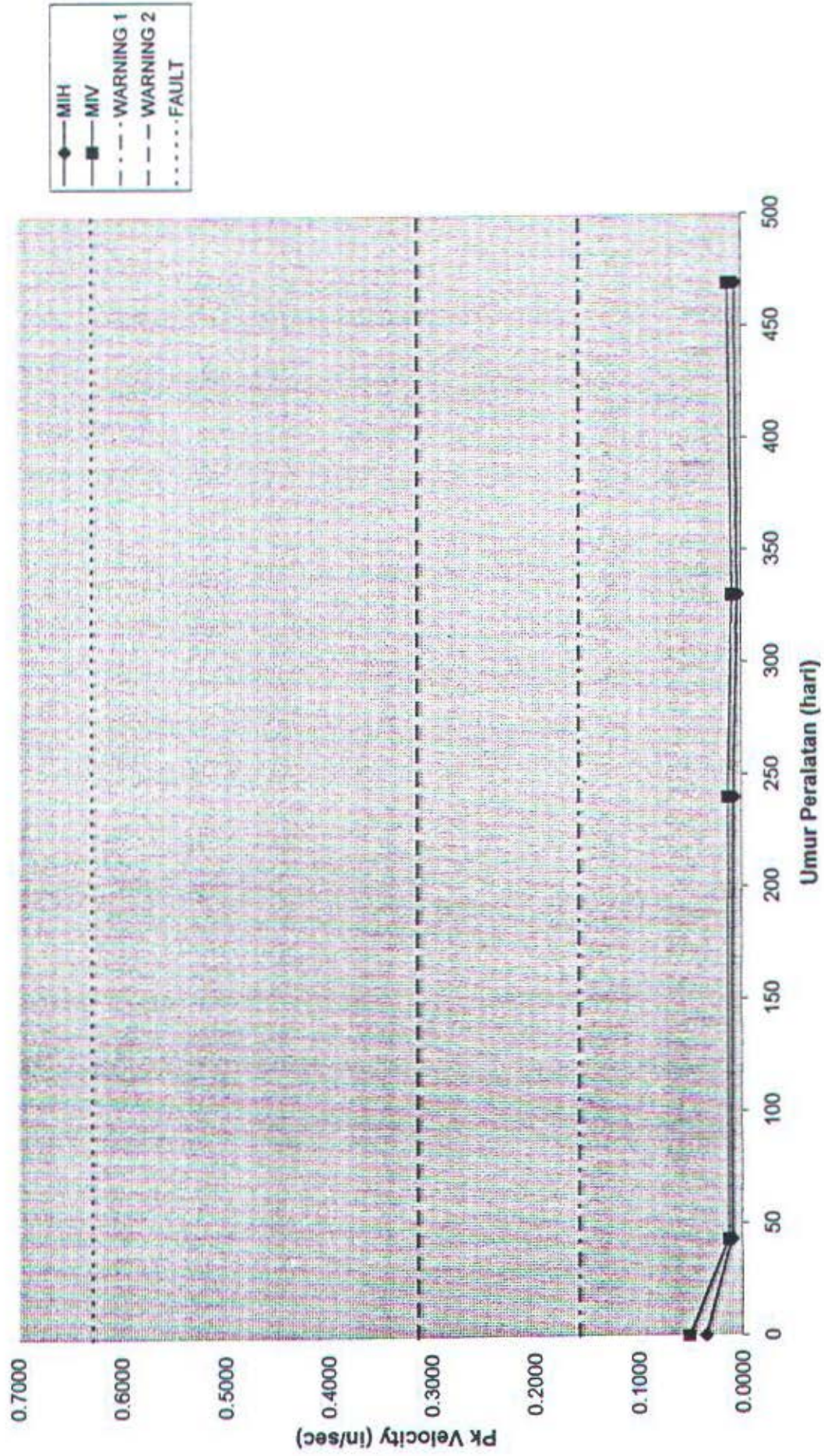
Pengukuran Gear Box Titik 4



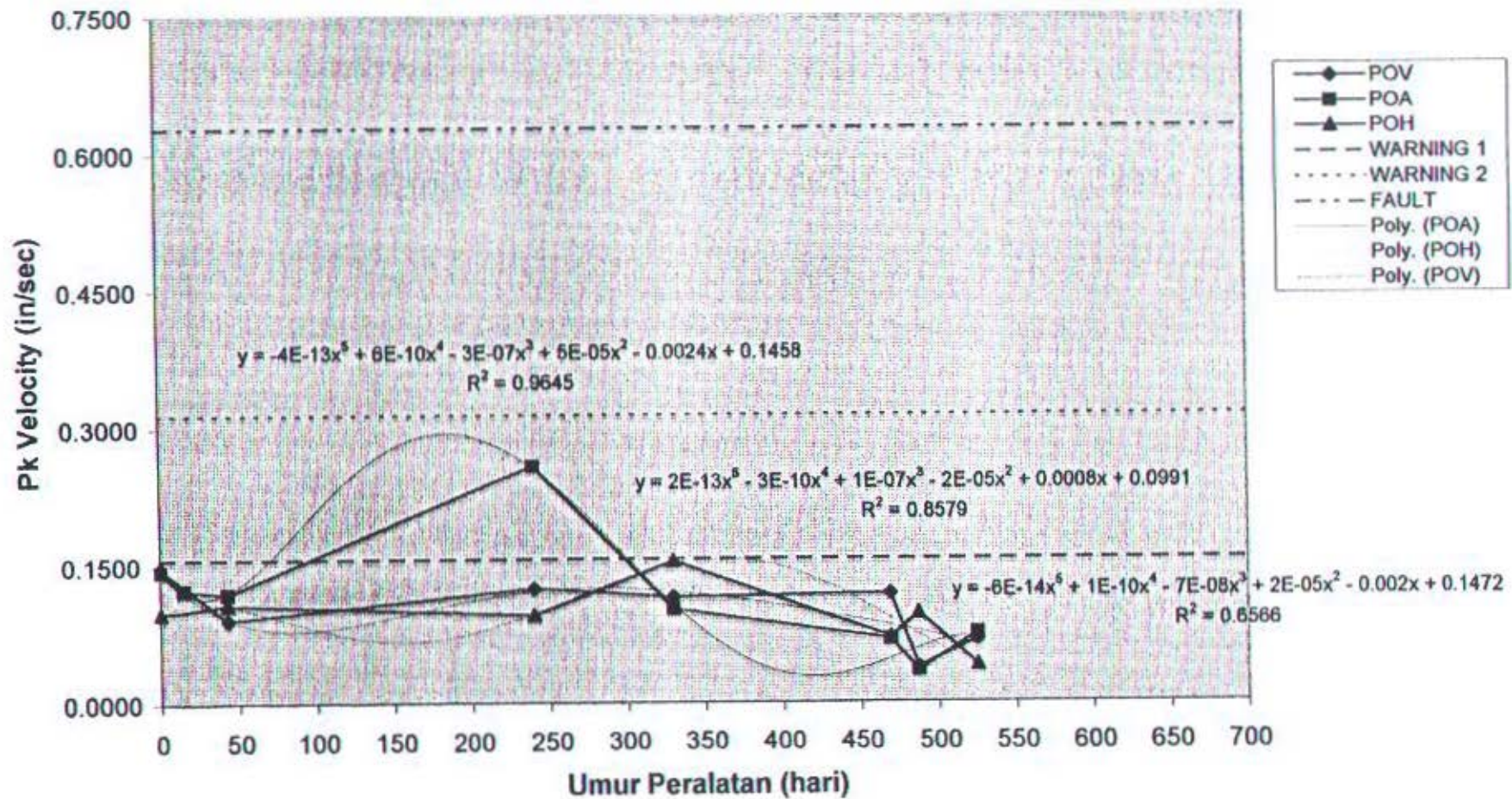
Pengukuran Motor Out Board



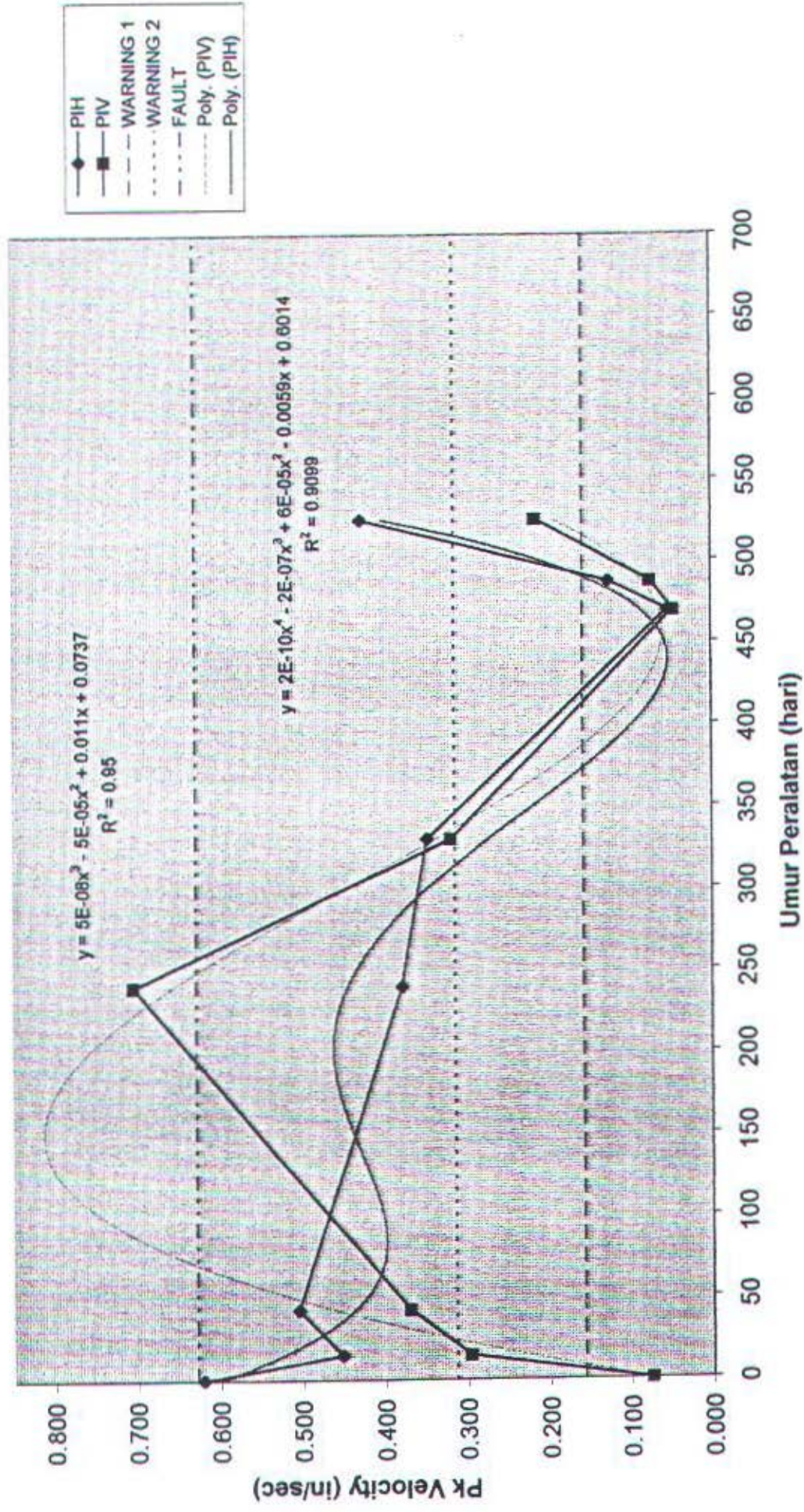
Pengukuran Motor In Board



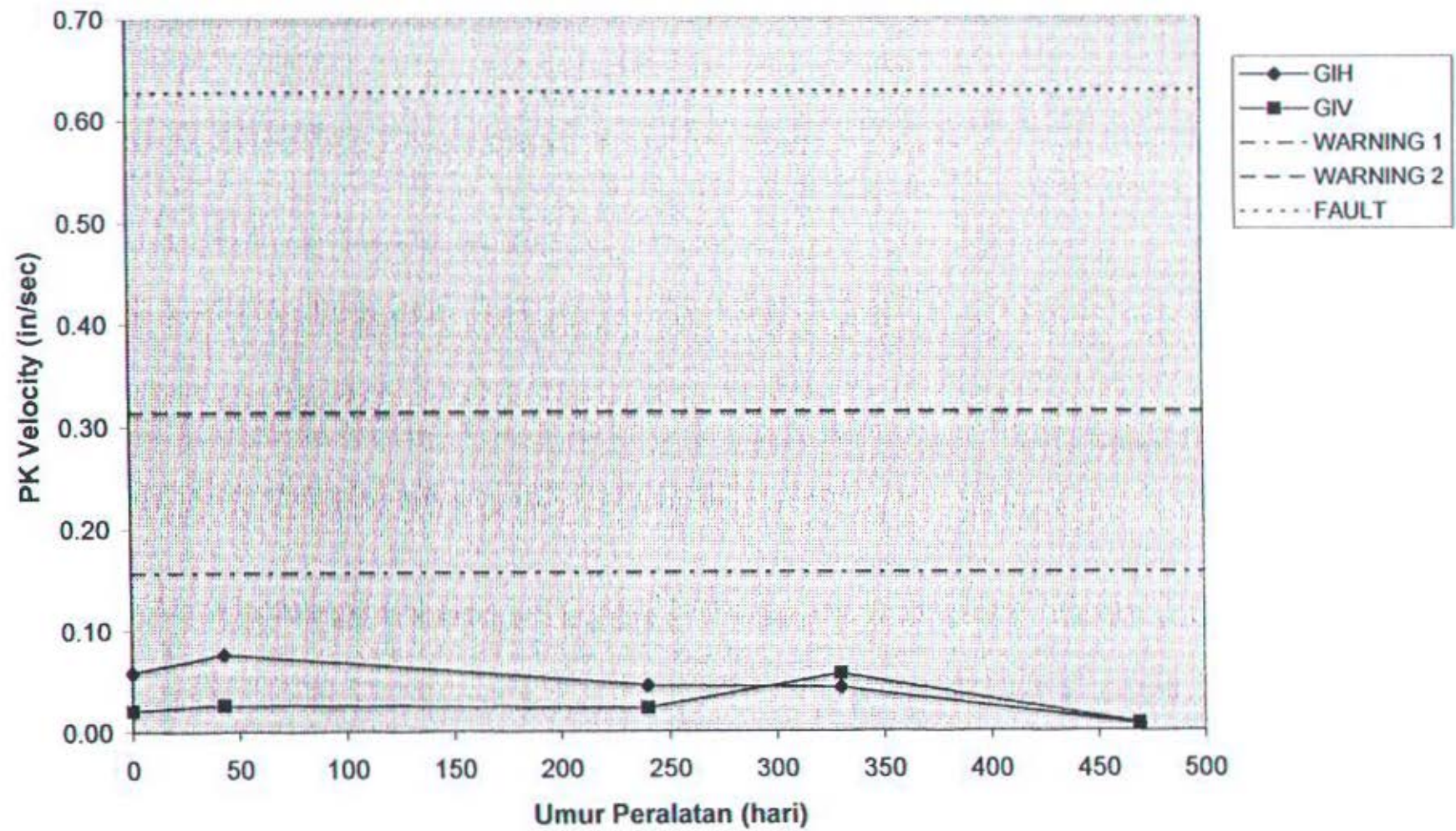
Pengukuran Pompa Out Board



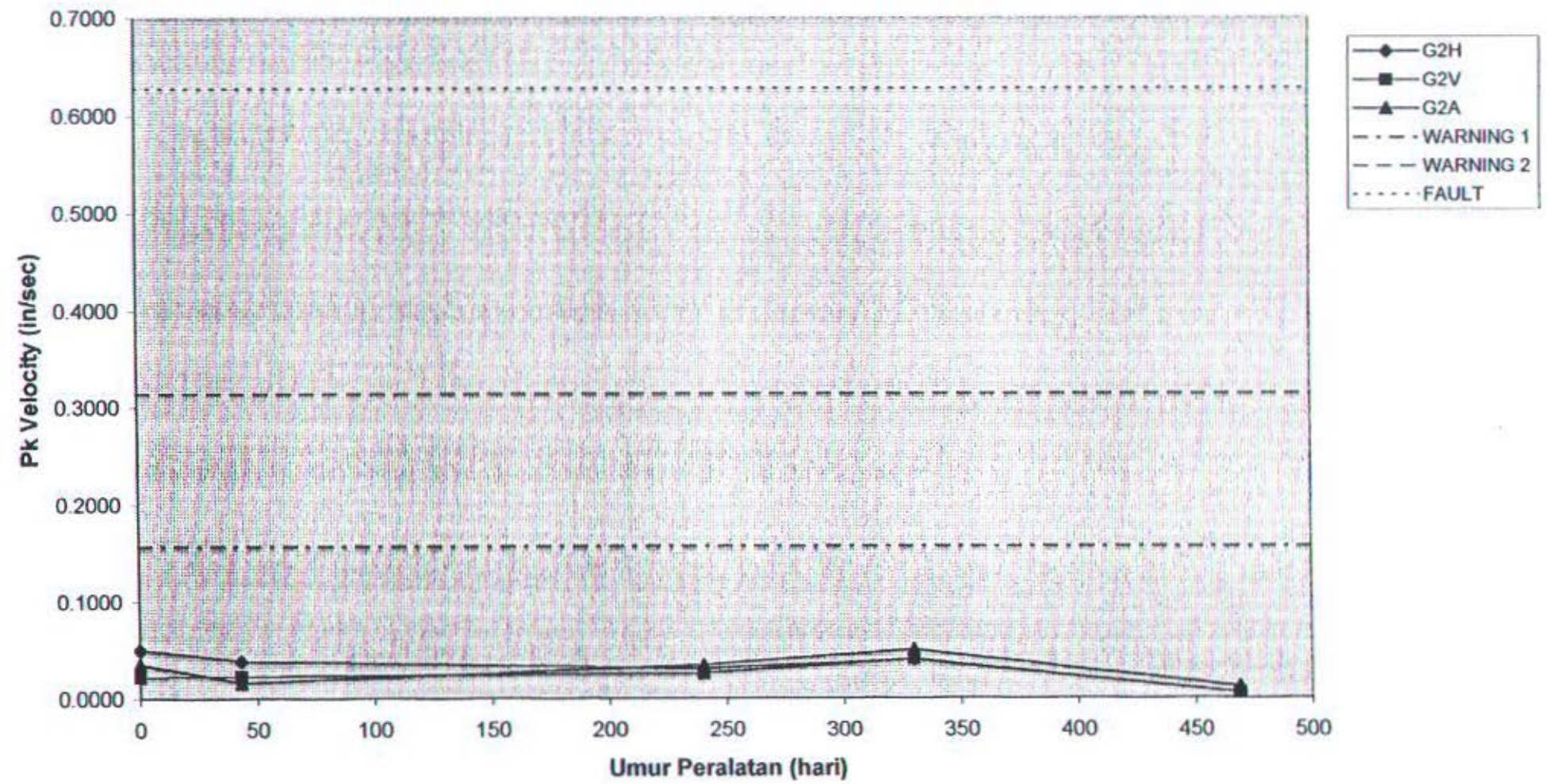
Pengukuran Pompa In Board



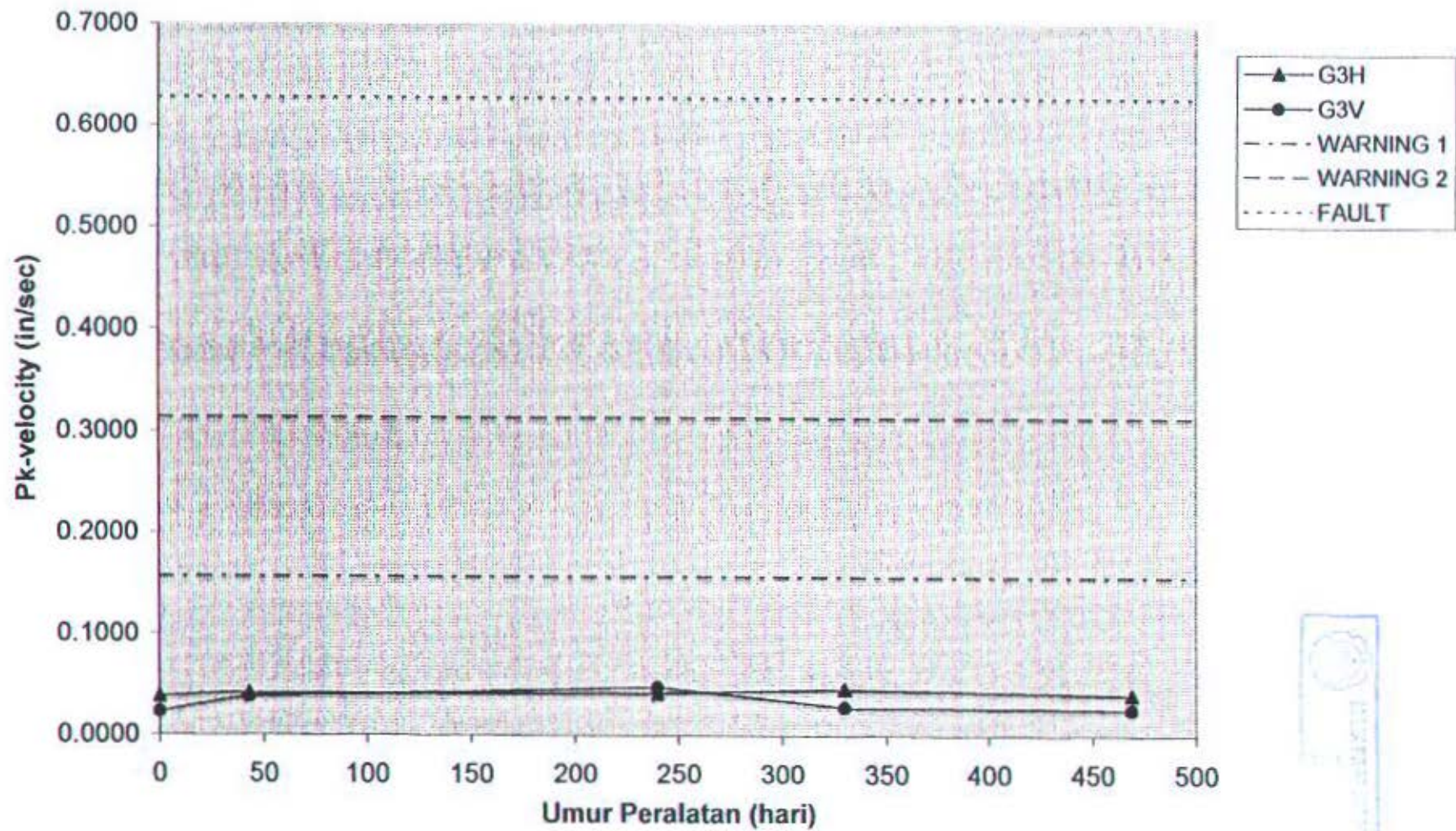
Pengukuran Gear Box 1



Pengukuran Gear Box Titik 2



Pengukuran Gear Box Titik 3



Pengukuran Gear Box Titik 4

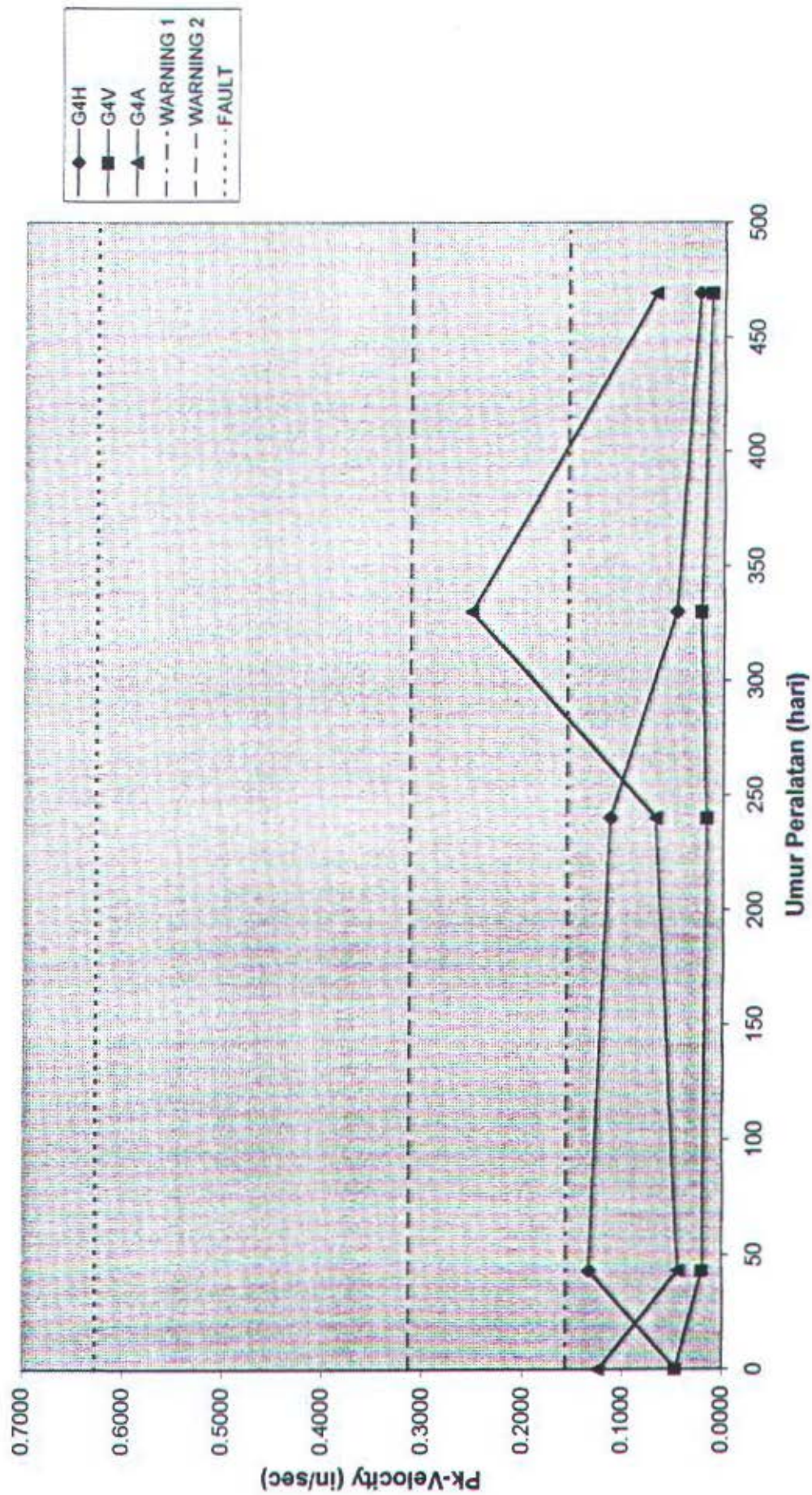
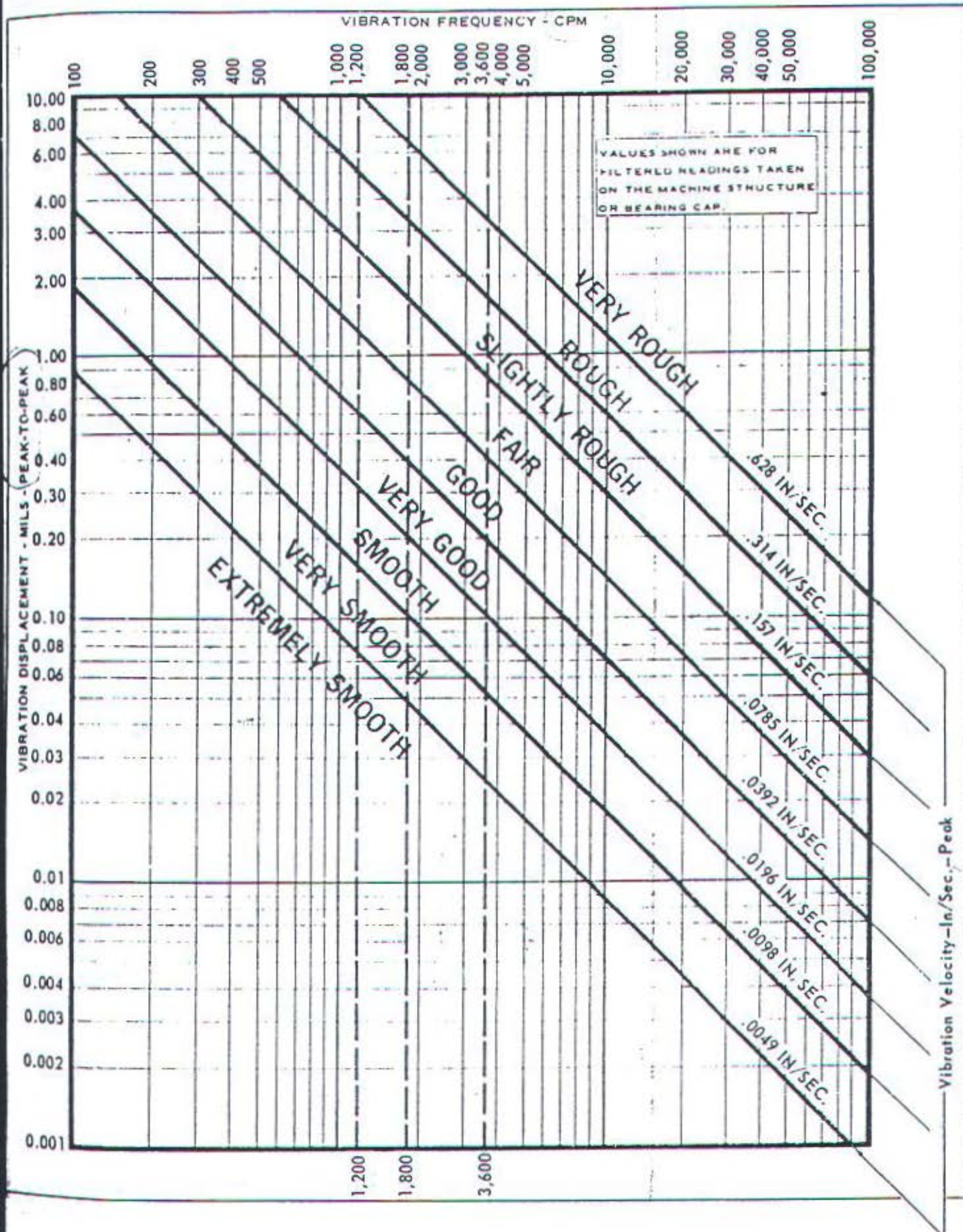
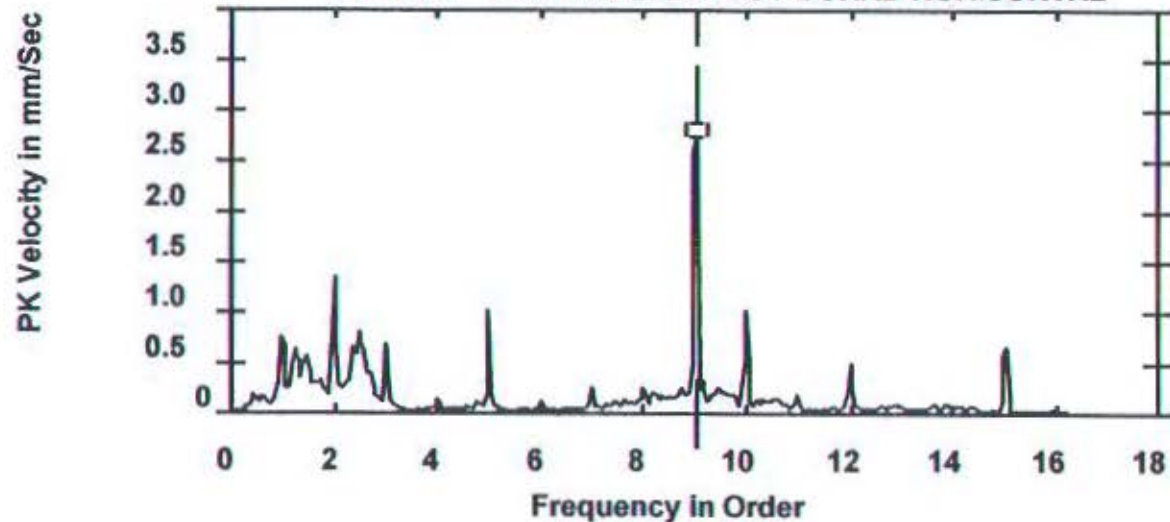


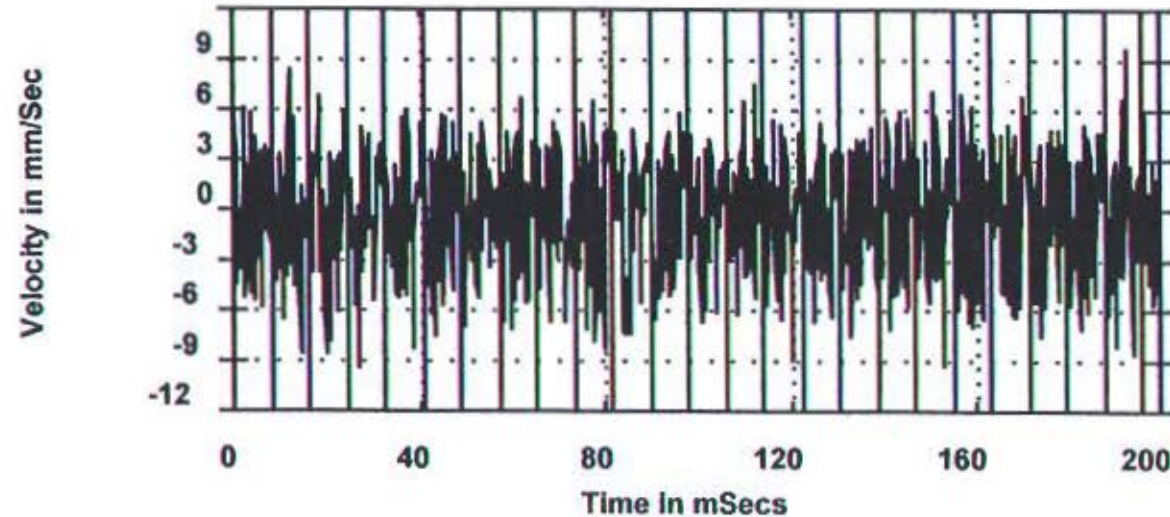
Figure 2-12
Displacement velocity severity chart



TU3 - BOILER FEED PUMP 3B
BFP-3B -POH MPOMPA OUT BOARD HORIZONTAL



ROUTE SPECTRUM
05-MAR-98 09:37:03
OVRALL= 5.35 V-AN
PK = 4.92
LOAD = 100.0
RPM = 7348.
RPS = 122.47

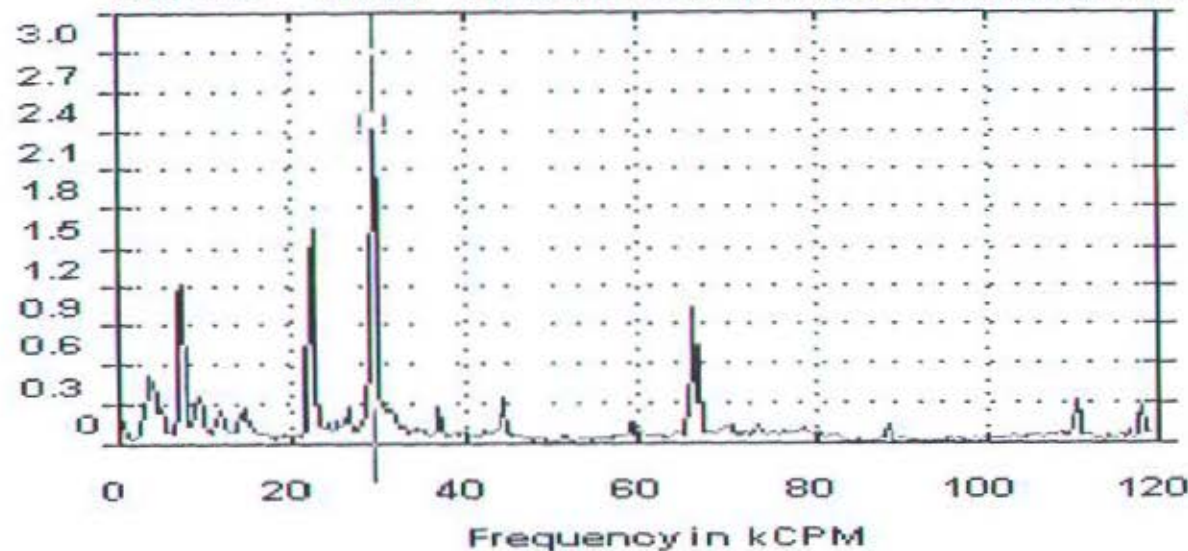


ROUTE WAVEFORM
05-MAR-98 09:37:03
PK = 4.81
PK(+) = 9.70
PK(-) = 9.47
CRESTF= 2.85

Ordr: 9.023
Freq: 1105.0
Spec: 2.736

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

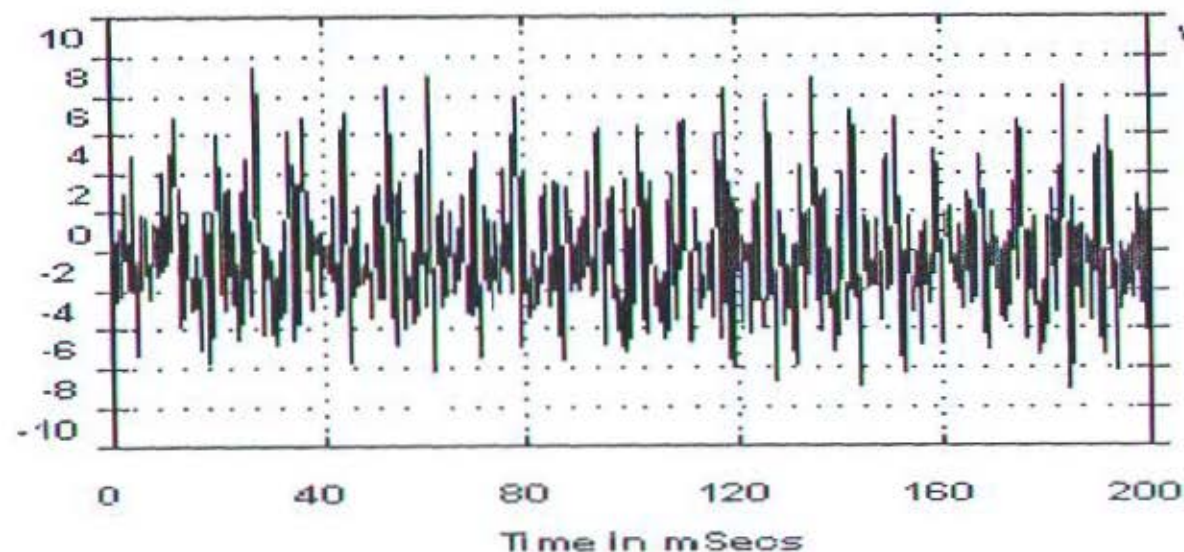
BFP-3B -POH MPOMPA OUT BOARD HORIZONTAL



PK Velocity in mm/Sec

ROUTE SPECTRUM
18-SEP-98 10:10:52
OVRALL= 4.20 V-AN
PK = 4.04
LOAD = 100.0
RPM = 7372.
RPS = 122.86

Velocity in mm/Sec



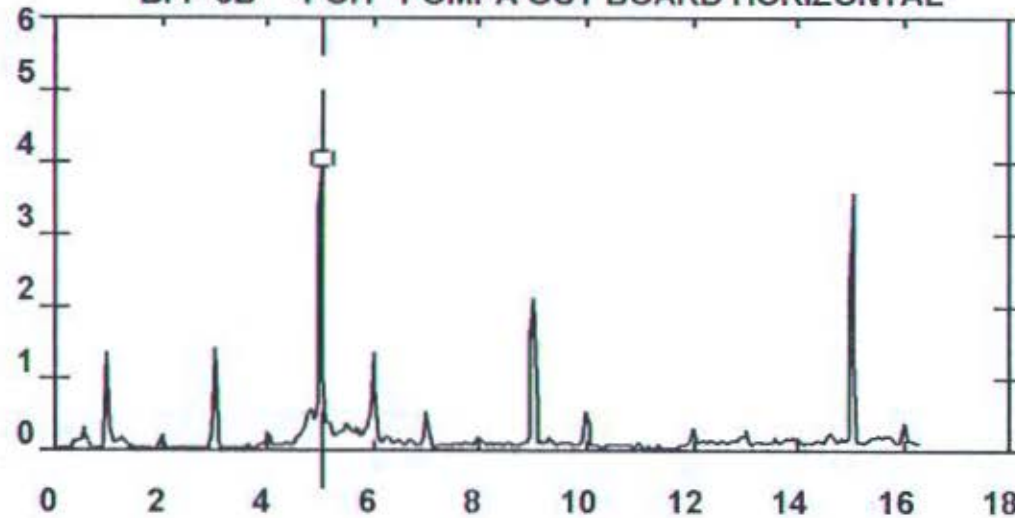
WAVEFORM DISPLAY
18-SEP-98 10:10:52
PK = 3.95
PK(+) = .3701
PK(-) = .2826
CRESTF= 3.36

File: 27340
Date: 9/18/98
Time: 10:10:52

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POH POMPA OUT BOARD HORIZONTAL

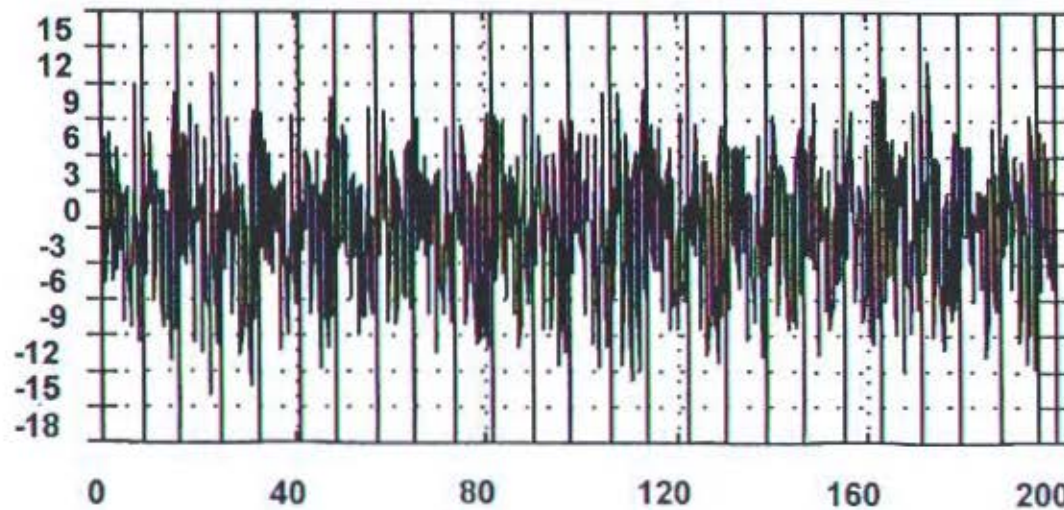
PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
17-DEC-98 09:46:07
OVRALL= 6.92 V-AN
PK = 7.14
LOAD = 100.0
RPM = 7357.
RPS = 122.61

Frequency in Order

Velocity in mm/Sec



ROUTE WAVEFORM
17-DEC-98 09:46:07
PK = 7.21
PK(+) = 14.01
PK(-) = 14.13
CRESTF= 2.77

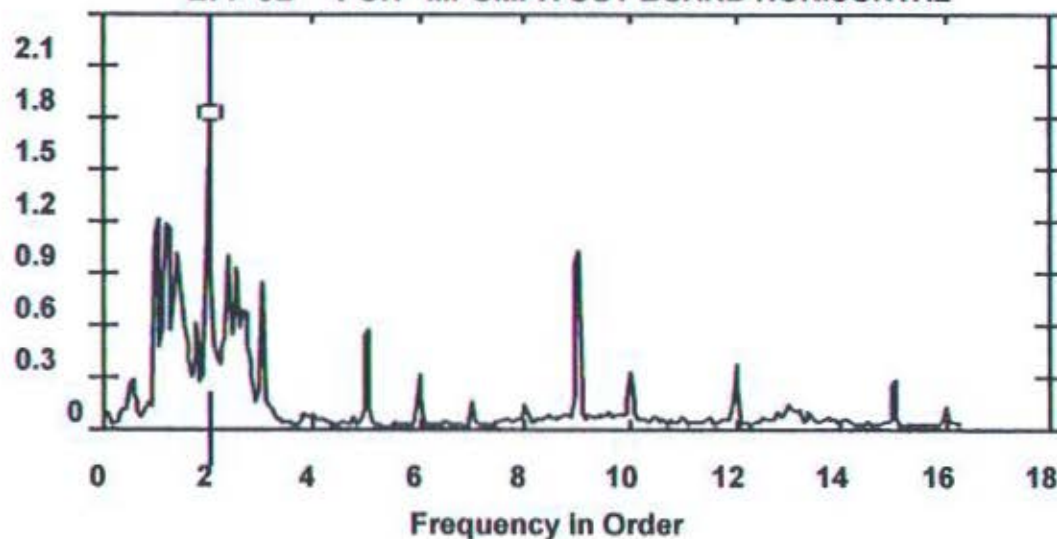
Time in mSecs

Ordr: 5.016
Freq: 615.00
Spec: 3.928

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

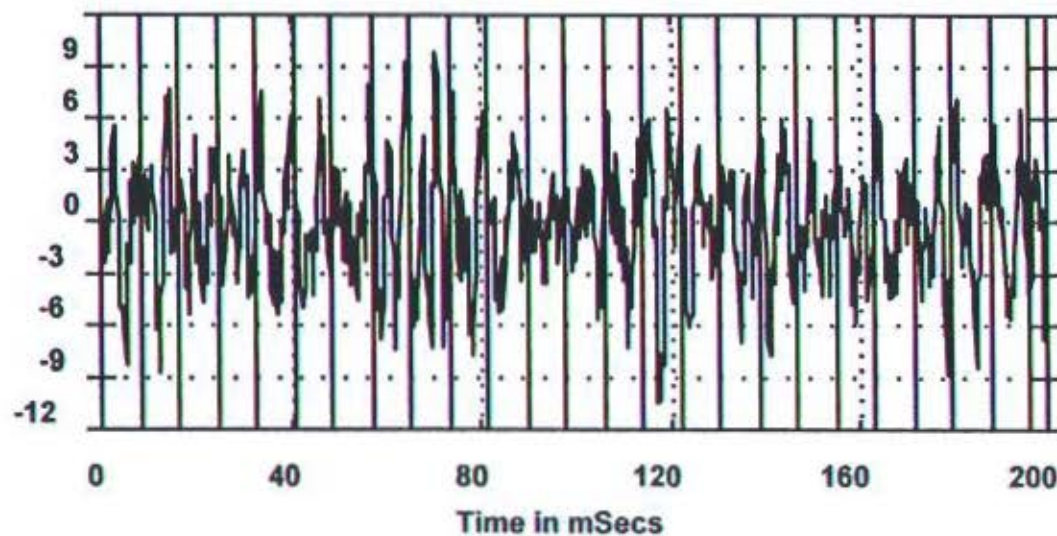
BFP-3B -POH MPOMPA OUT BOARD HORIZONTAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
05-MAY-99 09:36:50
OVRALL= 4.76 V-AN
PK = 4.62
LOAD = 100.0
RPM = 7351.
RPS = 122.52

Velocity in mm/Sec

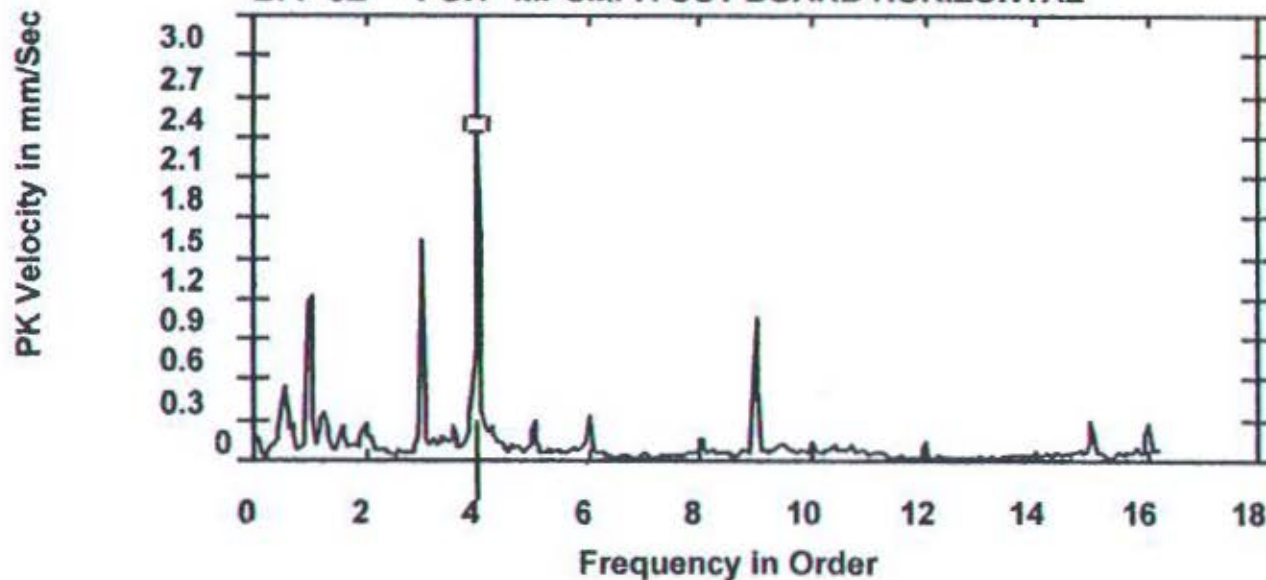


ROUTE WAVEFORM
05-MAY-99 09:36:50
PK = 4.60
PK(+) = 9.92
PK(-) = 10.49
CRESTF= 3.23

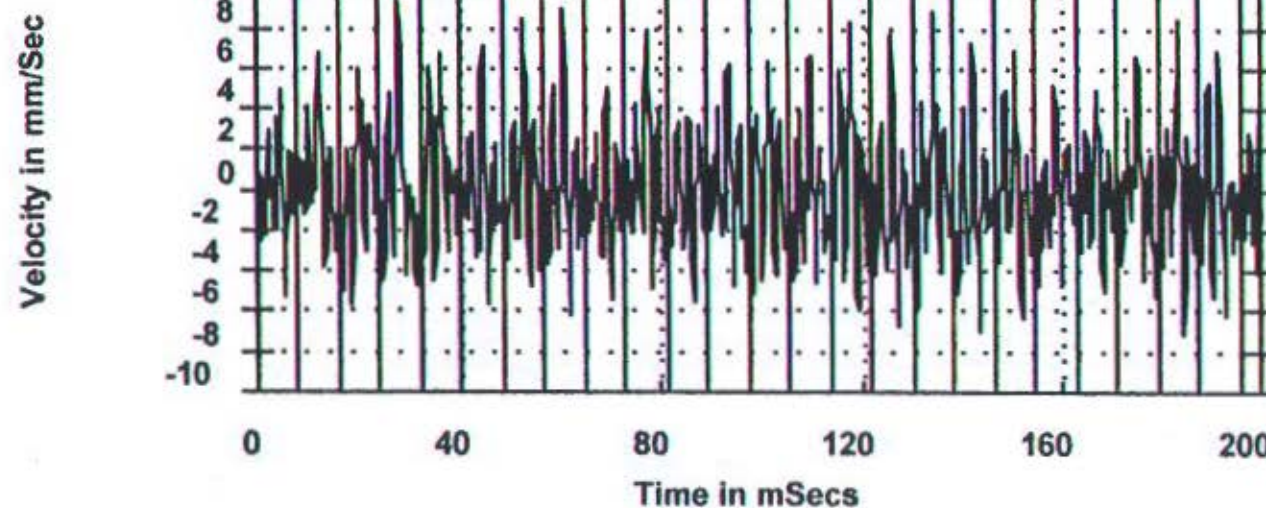
Ordr: 2.000
Freq: 245.00
Spec: 1.780

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POH MPOMPA OUT BOARD HORIZONTAL



ROUTE SPECTRUM
03-JUN-99 10:10:52
OVRALL= 4.20 V-AN
PK = 4.04
LOAD = 100.0
RPM = 7364.
RPS = 122.74



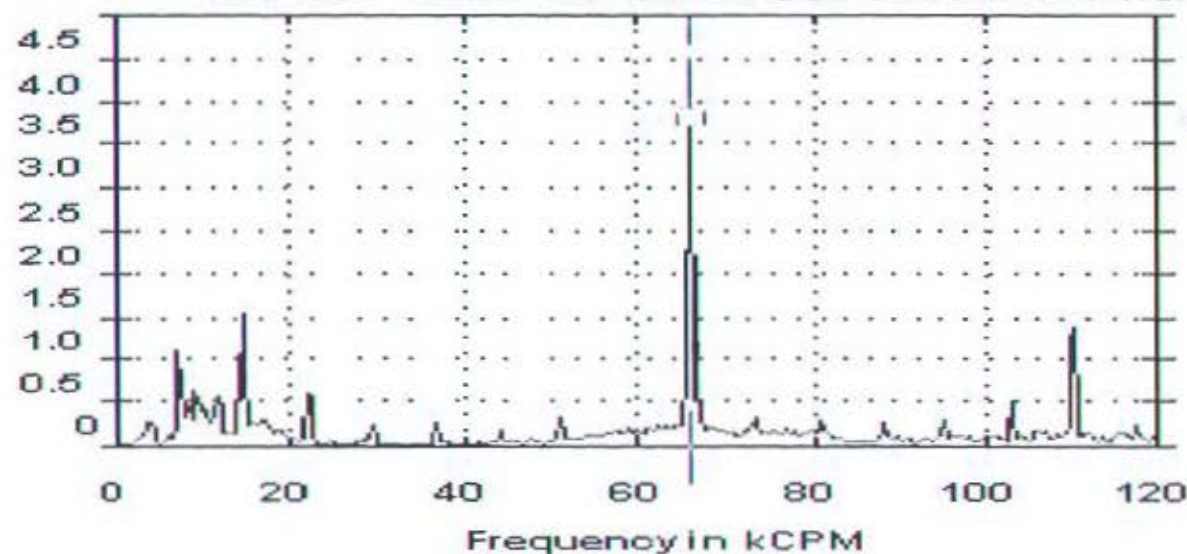
WAVEFORM DISPLAY
03-JUN-99 10:10:52
PK = 3.95
PK(+) = 9.40
PK(-) = 7.18
CRESTF= 3.36

Ordr: 3.992
Freq: 490.00
Spec: 2.438

PK Velocity in mm/Sec

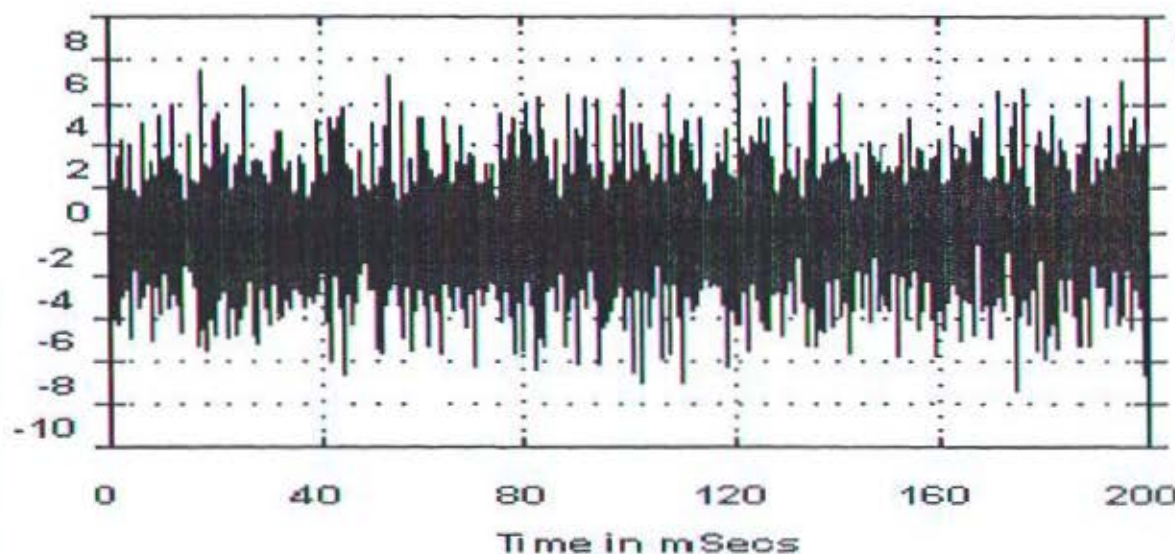
TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POV MPOMPA OUT BOARD VERTICAL



ROUTE SPECTRUM
21-JAN-98 09:19:09
OVRALL= 5.78 V-DG
PK = 5.75
LOAD = 100.0
RPM = 7356.
RPS = 122.61

Acceleration in G-s



WAVEFORM DISPLAY
21-JAN-98 09:19:09
RMS = 2.91
PK(+) = 8.03
PK(-) = 7.39
CRESTF = 2.75

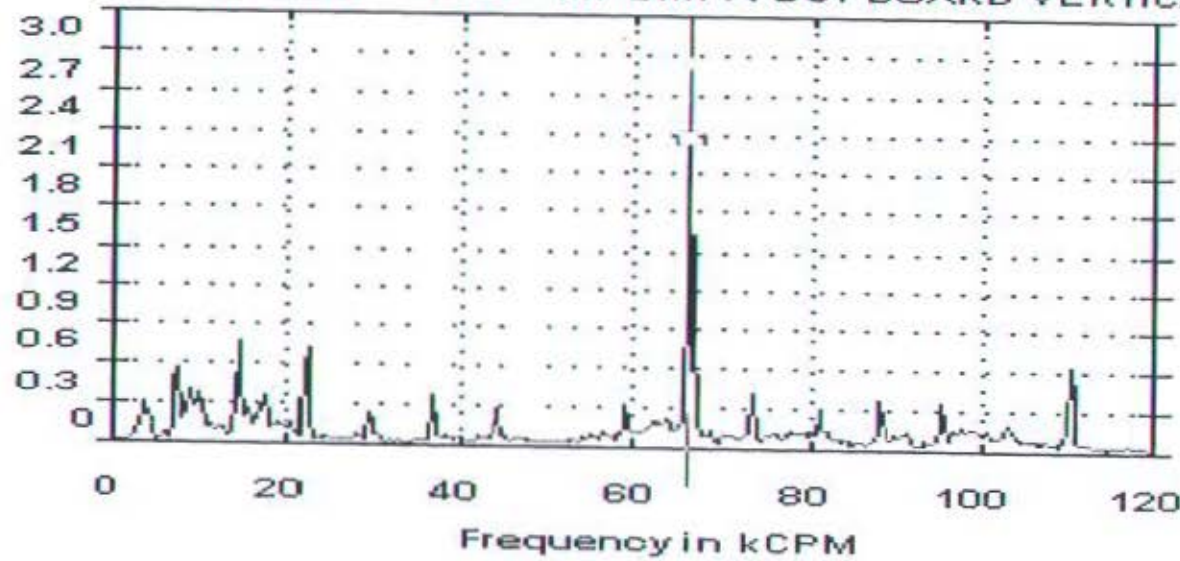
Label: Unmatched Resonant Fault

Freq: 66.00
Ord: 8.972
Spec: 3.753

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

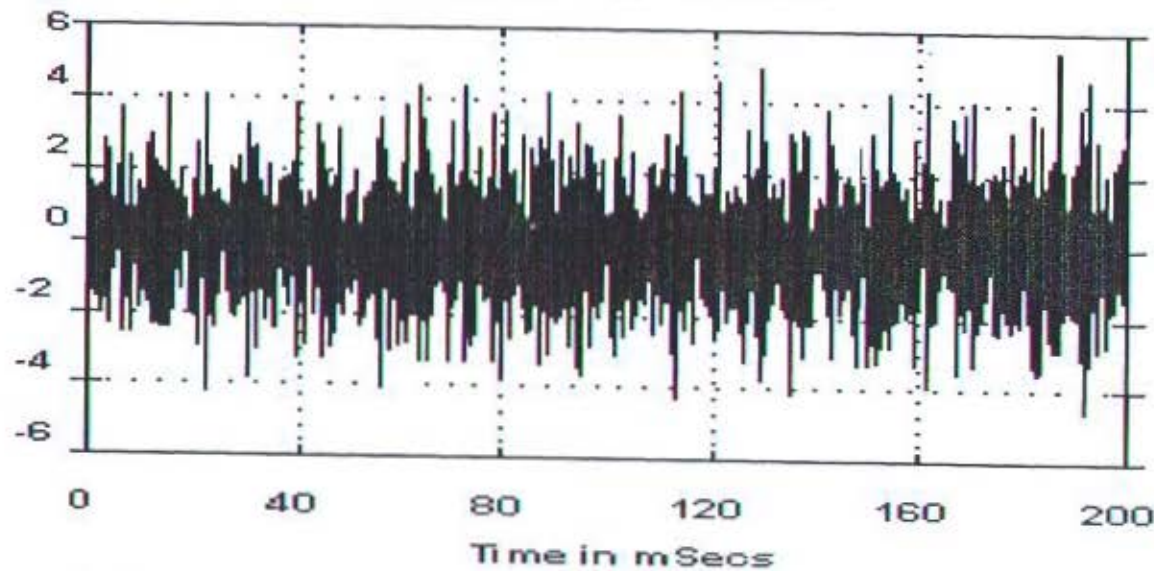
BFP-3B -POV MPOMPA OUT BOARD VERTICAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
05-MAR-98 09:29:30
OVRALL= 3.40 V-DG
PK = 3.39
LOAD = 100.0
RPM = 7379.
RPS = 122.99

Acceleration in G-s



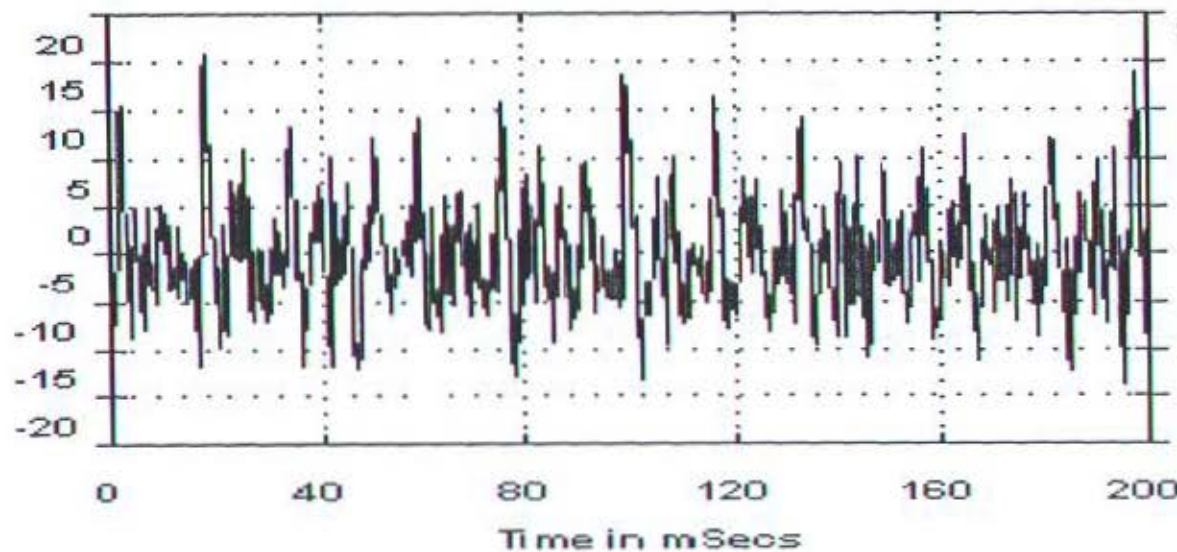
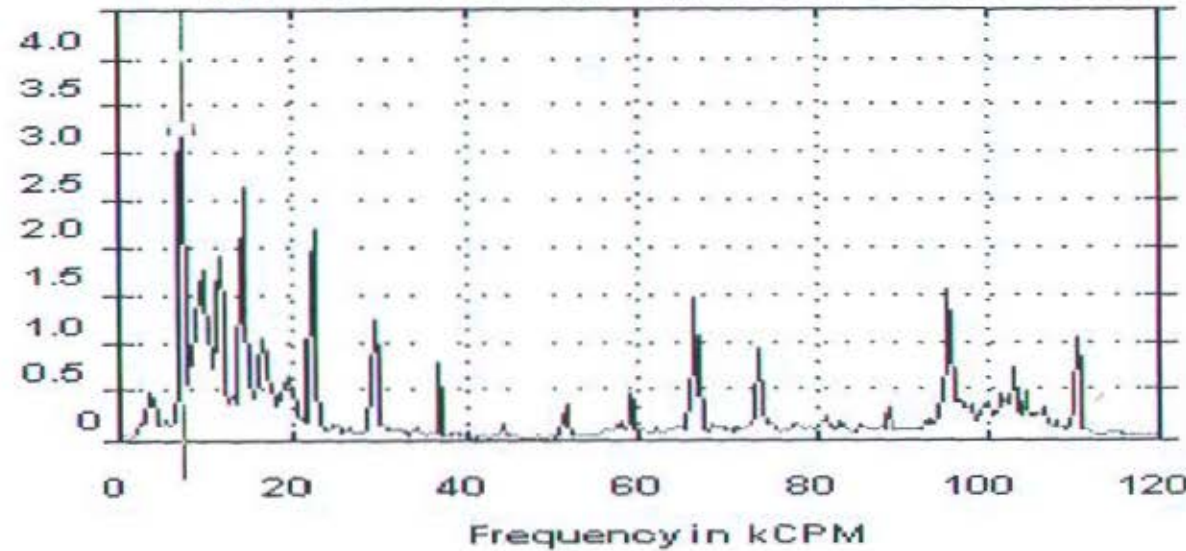
WAVEFORM DISPLAY
05-MAR-98 09:29:30
RMS = 1.72
PK(+) = 5.47
PK(-) = 4.56
CRESTF = 3.18

Label: Time Waveform Impacting

Freq: 68.30
Ordr: 0.985
Spec: 2.315

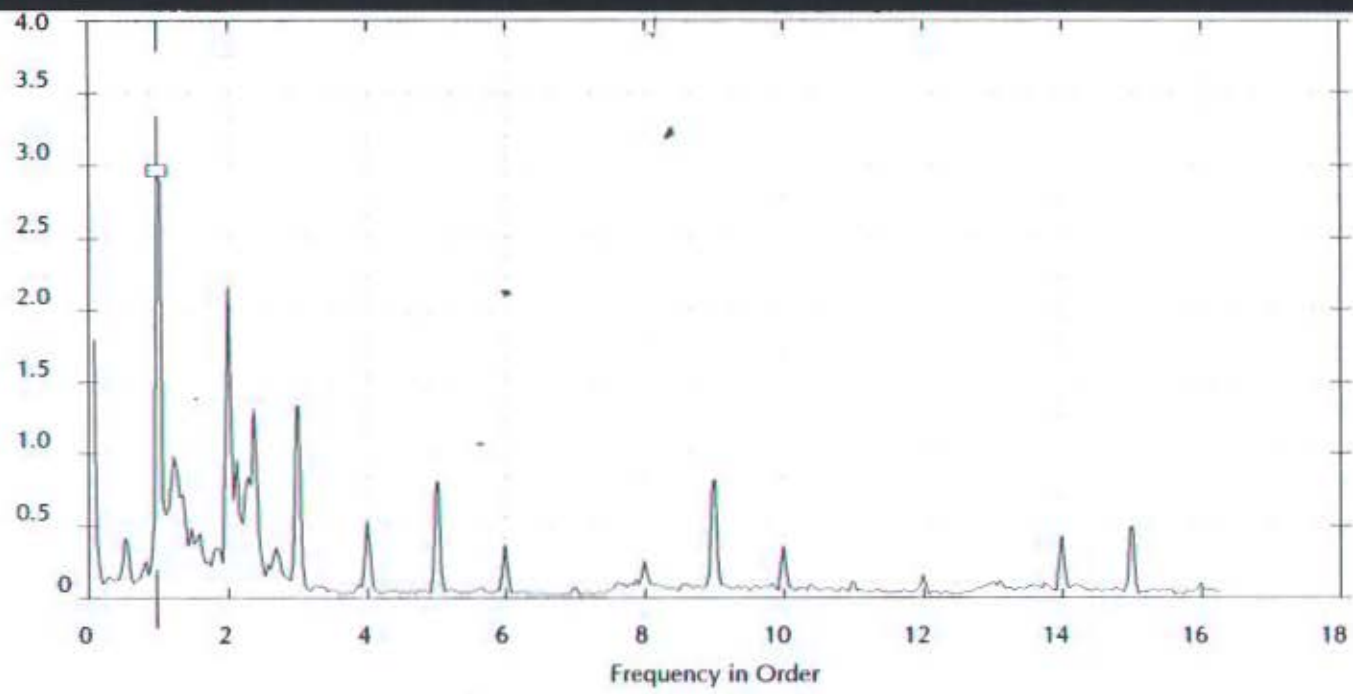
TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POV MPOMPA OUT BOARD VERTICAL

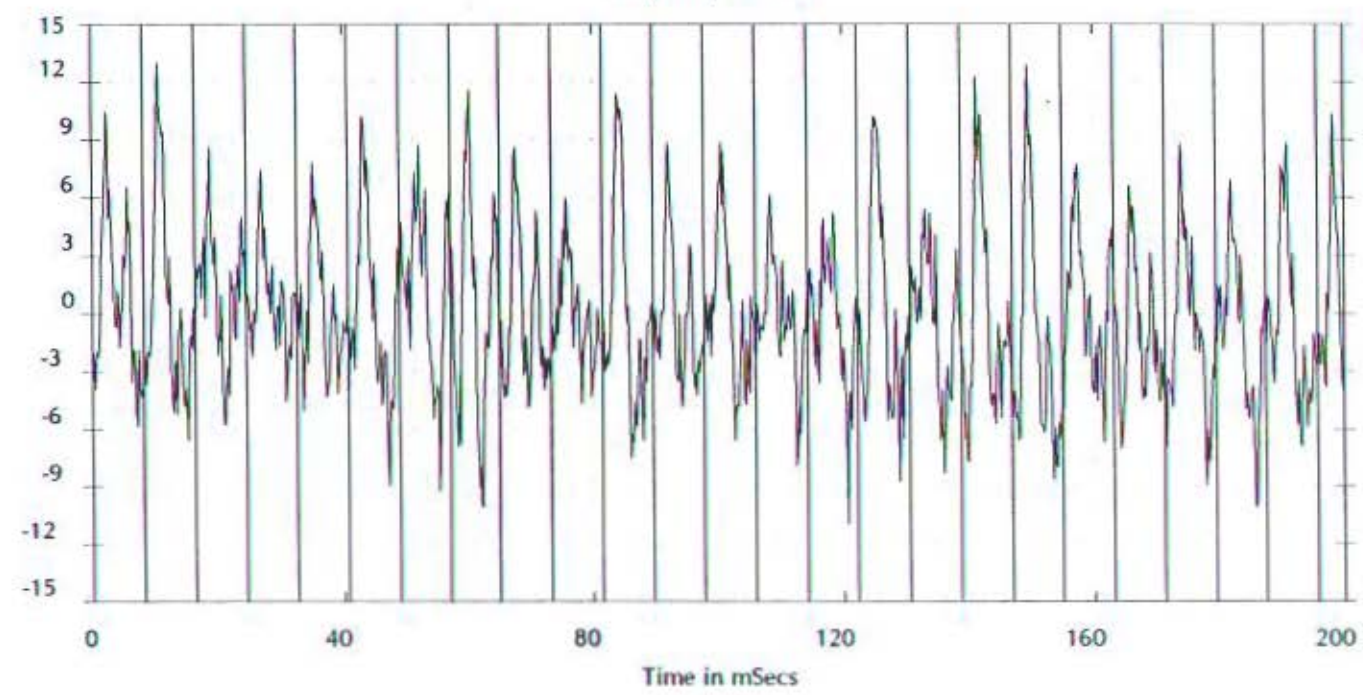


Freq 7.500
Unit 1.000
Spec 3.174

PK Velocity in mm/Sec



Velocity in mm/Sec

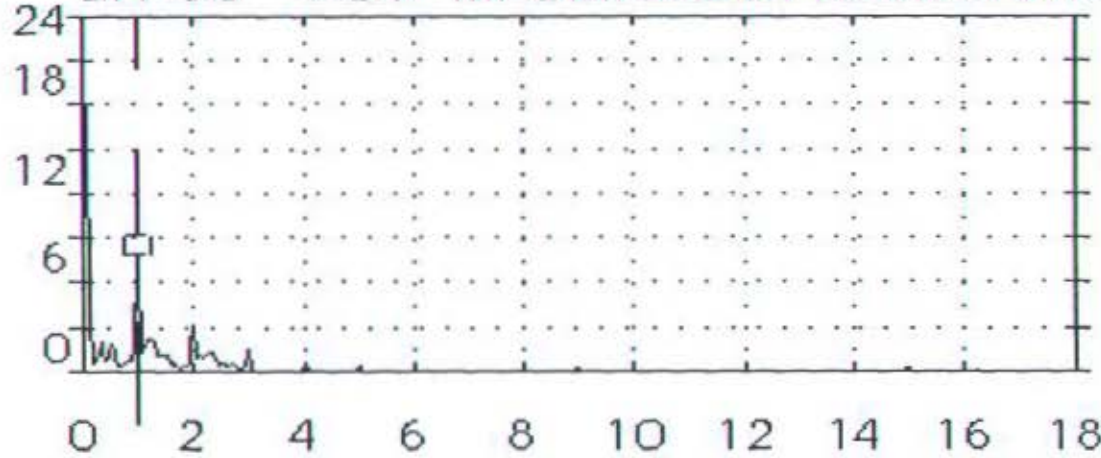


Ordr: .979
Freq: 120.00
Spec: 2.929

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POV MPOMPA OUT BOARD VERTICAL

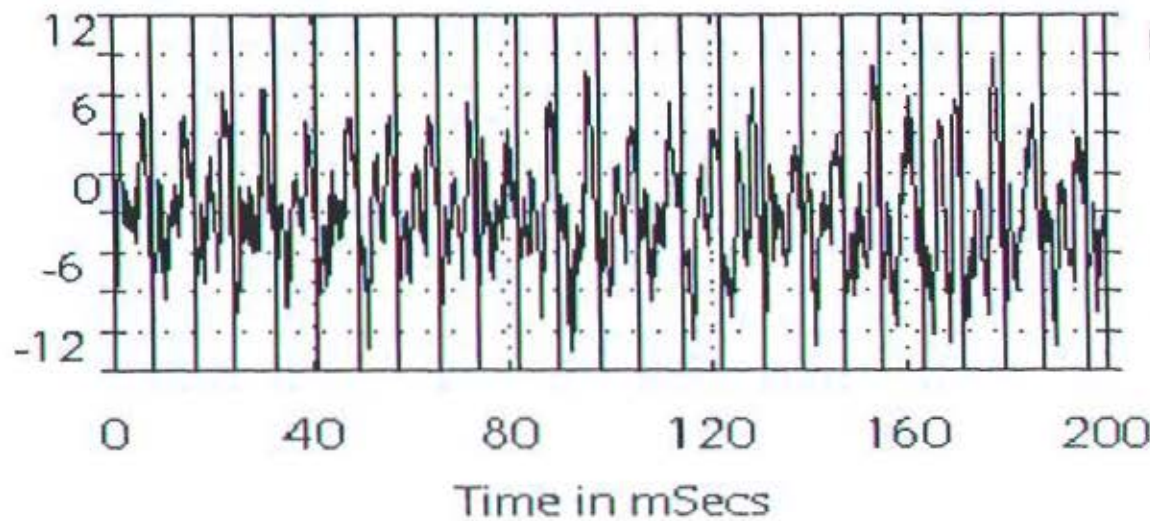
P-P Microns



ROUTE SPECTRUM
06-MAY-99 09:11:01
OVRALL = 6.31 V-AN
P-P = 18.85
LOAD = 100.0
RPM = 7350.
RPS = 122.49

Frequency in Order

Vel in mm/Sec



ROUTE WAVEFORM
06-MAY-99 09:11:01
PK = 5.80
PK(+) = .4625
PK(-) = .4152
CRESTF = 2.86

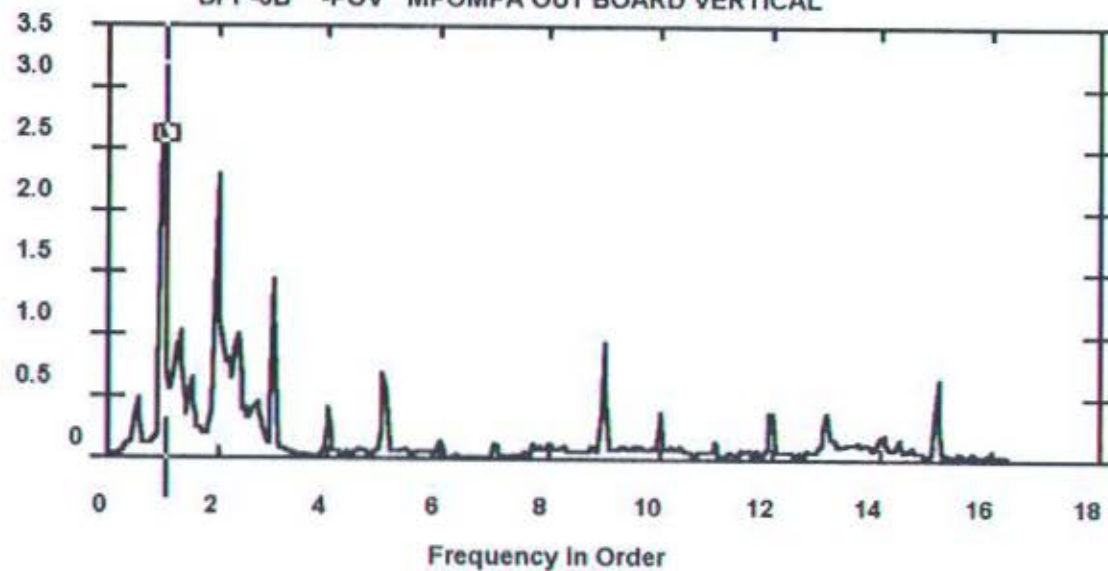
Ordr:

120.00
7.857

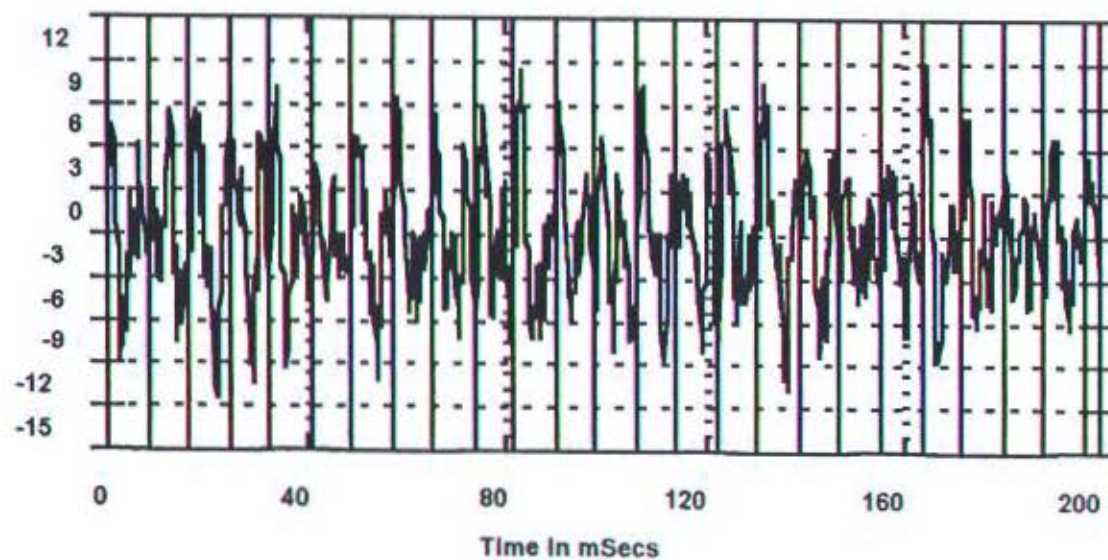
TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POV MPOMPA OUT BOARD VERTICAL

PK Velocity in mm/Sec



Velocity in mm/Sec

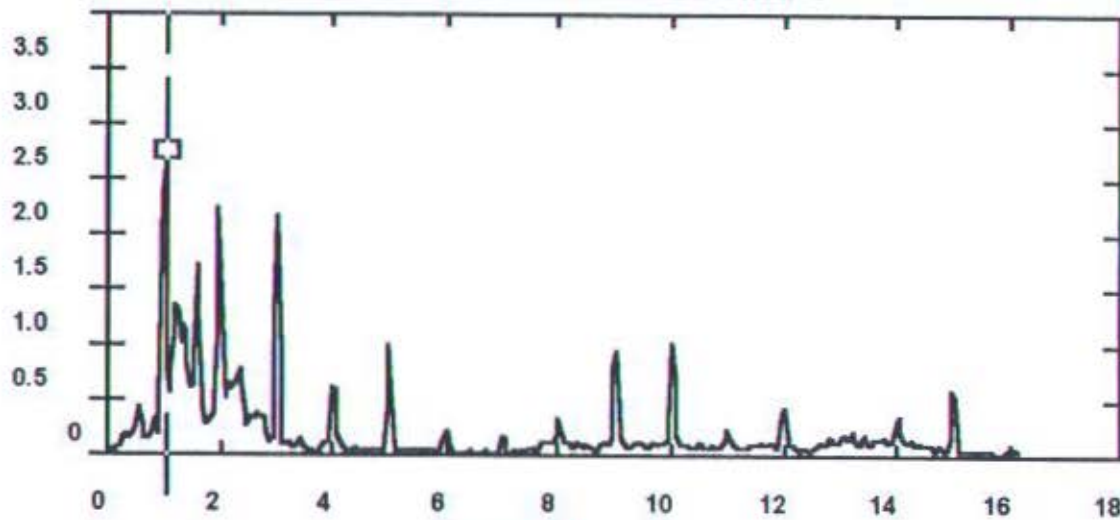


Ordr: 1.022
Freq: 125.00
Spec: 2.560

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POV MPOMPA OUT BOARD VERTICAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM

01-JUL-99 08:34:54

OVALL= 6.32 V-AN

PK = 6.47

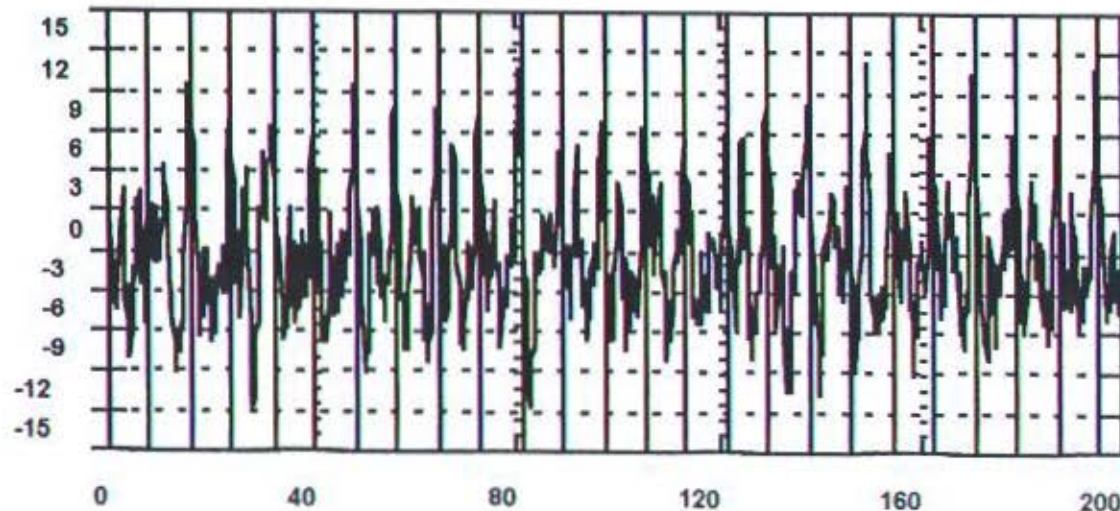
LOAD = 100.0

RPM = 7385.

RPS = 123.08

Frequency in Order

Velocity in mm/Sec



ROUTE WAVEFORM

01-JUL-99 08:34:54

PK = 6.52

PK(+) = 14.22

PK(-) = 11.64

CRESTF= 3.08

Time in mSecs

Ordr: 1.016

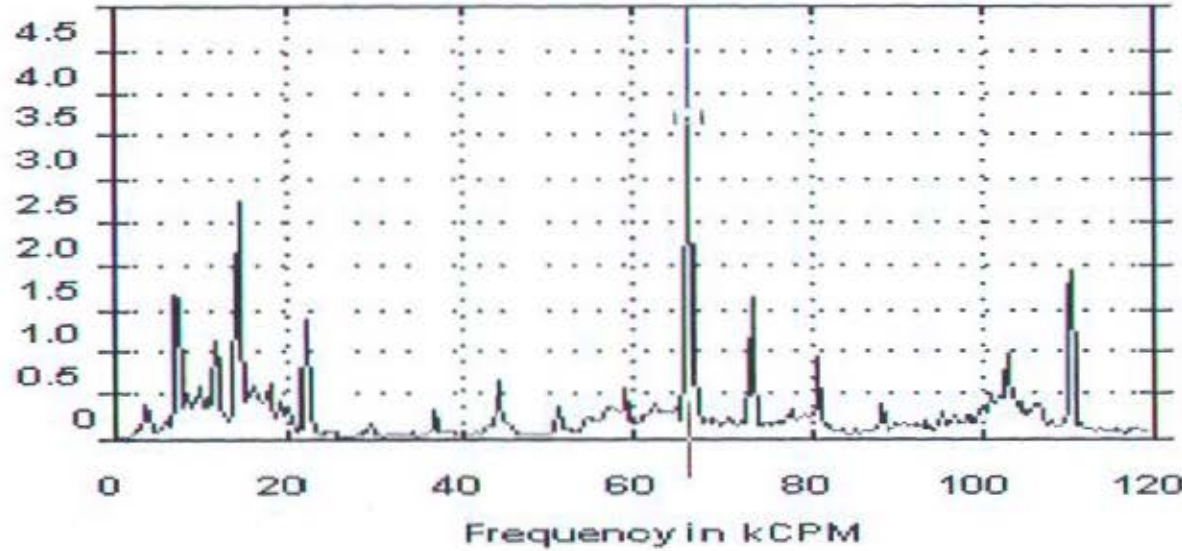
Freq: 125.00

Spec: 2.701

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

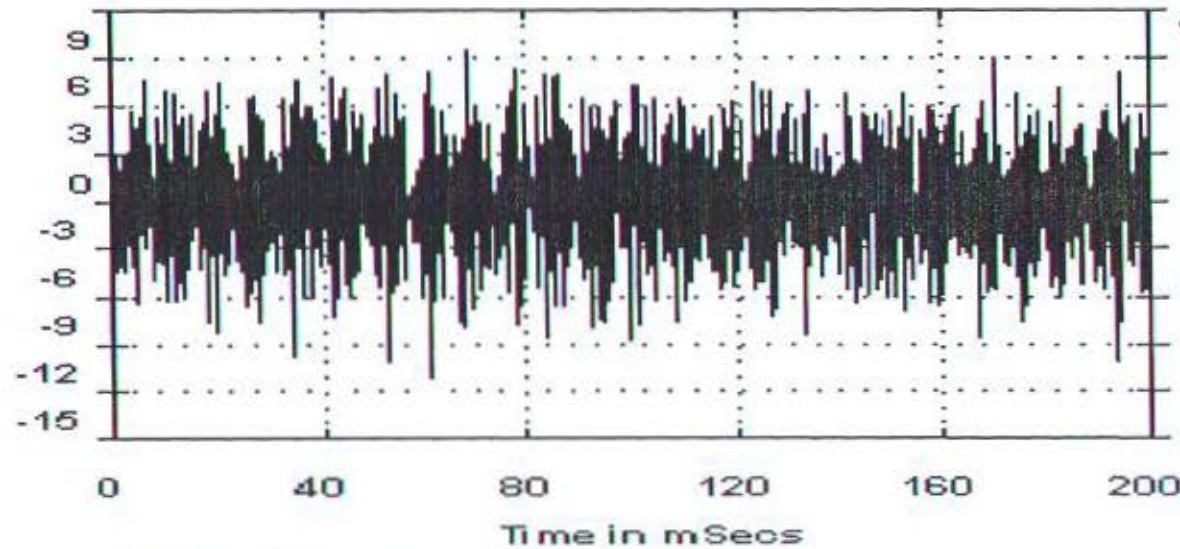
BFP-3B -POA MPOMPA OUT BOARD AXIAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
21-JAN-98 09:18:56
OVRALL= 7.71 V-DG
PK = 7.67
LOAD = 100.0
RPM = 7350.
RPS = 122.50

Acceleration in G-s



WAVEFORM DISPLAY
21-JAN-98 09:18:56
RMS = 3.60
PK(+) = 9.60
PK(-) = 11.18
CRESTF= 3.10

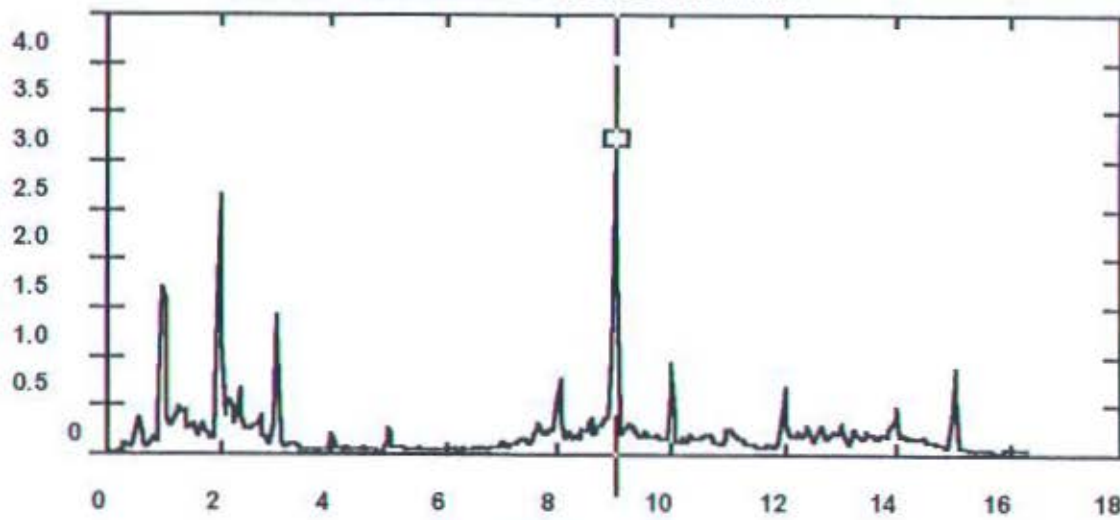
Freq: 66.00
Ach: 0.000
Spec: 3.665

Label: Time Waveform Impacting

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POA MPOMPA OUT BOARD AXIAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM

05-FEB-98 09:57:00

OVRALL= 6.13 V-DG

PK = 6.10

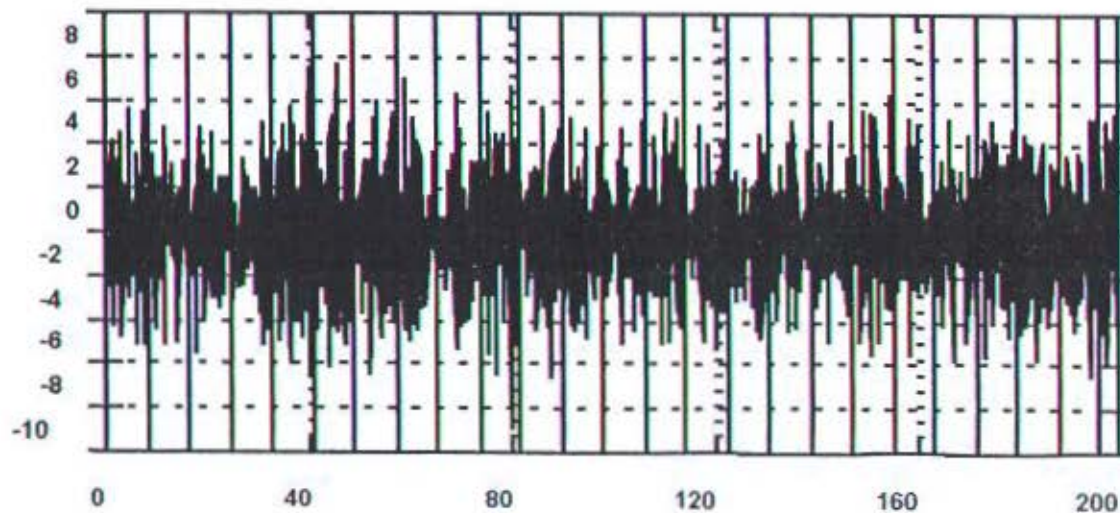
LOAD = 100.0

RPM = 7343.

RPS = 122.38

Frequency in Order

Acceleration in G-s



WAVEFORM DISPLAY

05-FEB-98 09:57:00

RMS = 2.67

PK(+) = 7.60

PK(-) = 8.94

CRESTF= 3.34

Time in mSecs

Label: Time Waveform Impacting

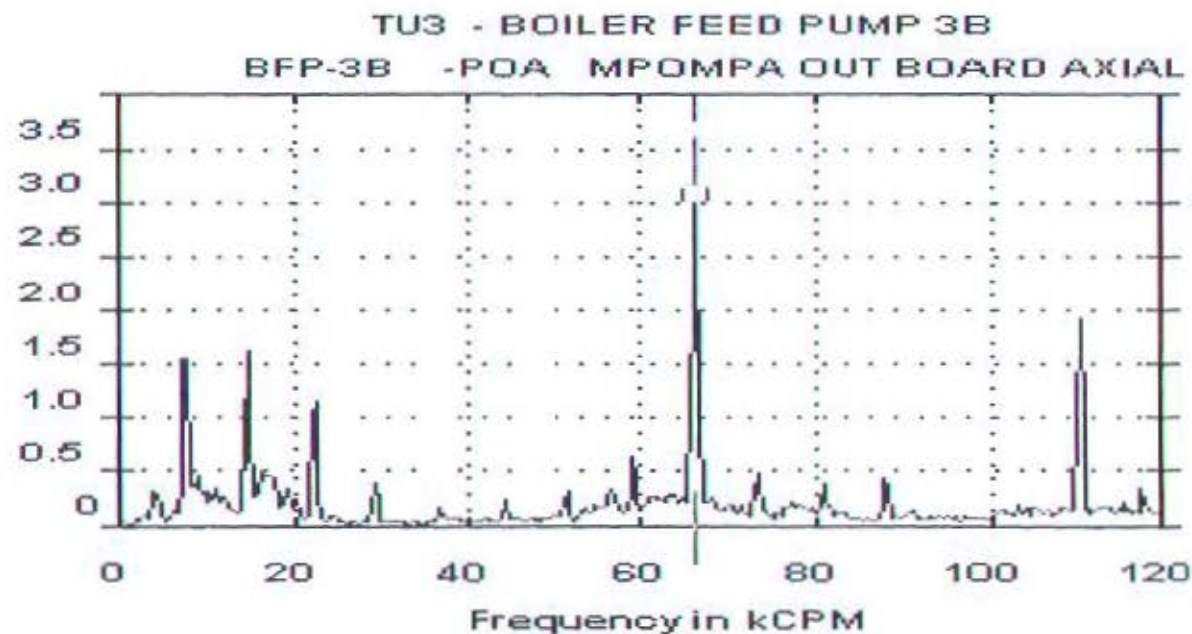
Ordr: 8.988

Freq: 1100.0

Spec: 3.157

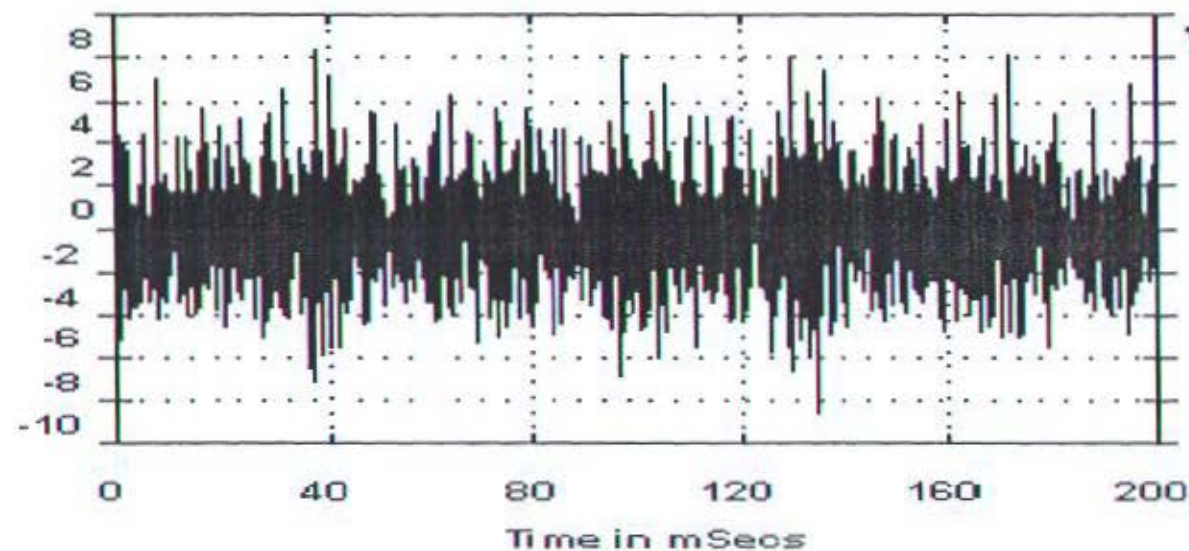


PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
05-MAR-98 09:29:44
OVRALL= 5.43 V-DG
PK = 5.39
LOAD = 100.0
RPM = 7356.
RPS = 122.59

Acceleration in G-s

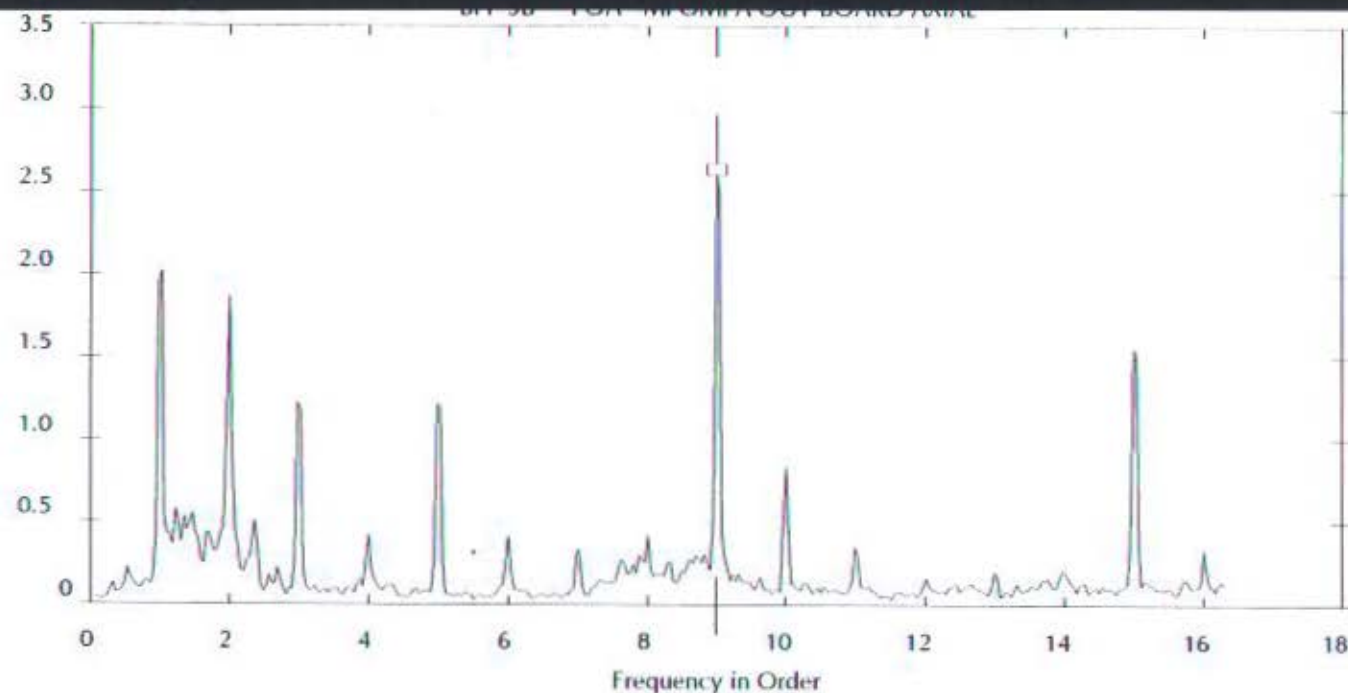


WAVEFORM DISPLAY
05-MAR-98 09:29:44
RMS = 2.65
PK(+) = 8.43
PK(-) = 8.56
CRESTF= 3.24

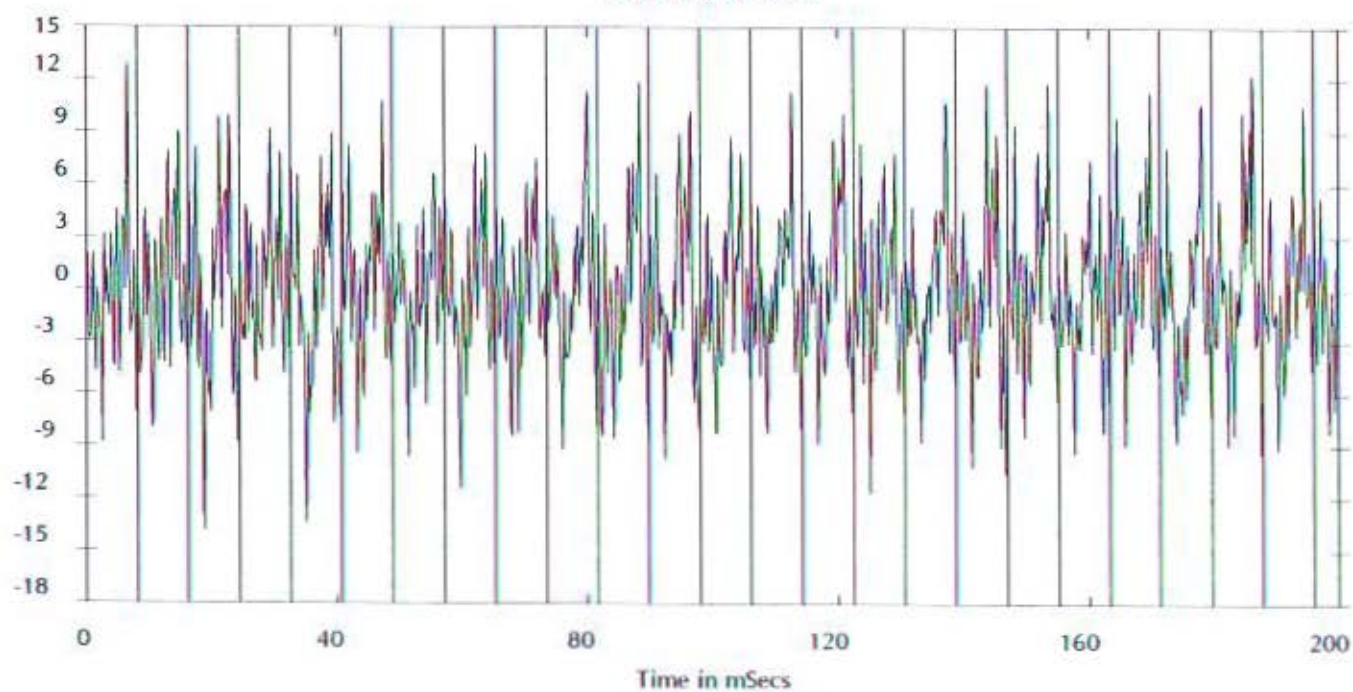
Freq 66.30
Ordr 9.014
Spec 3.034

Label: Time Waveform Impacting

PK Velocity in mm/Sec



Velocity in mm/Sec

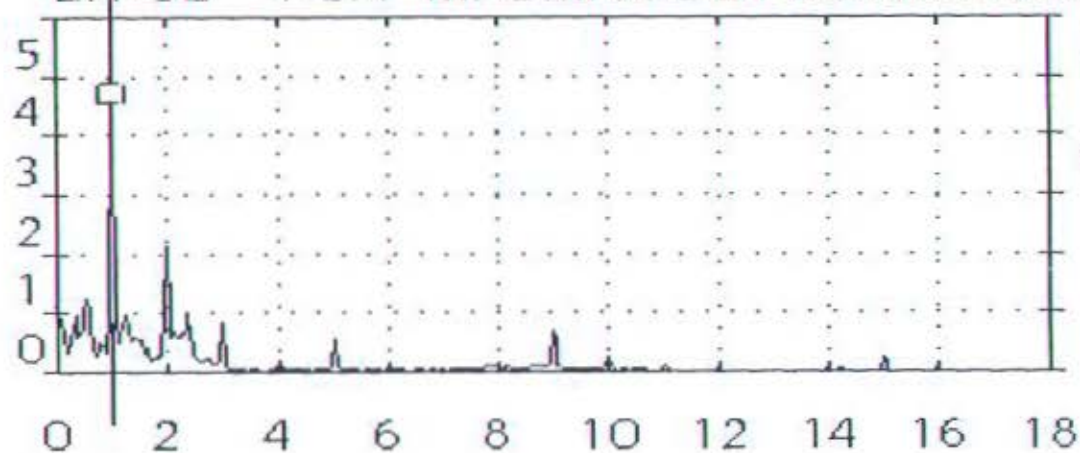


Ordr: 8.982
 Freq: 1100.0
 Spec: 2.613

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POA MPOMPA OUT BOARD AXIAL

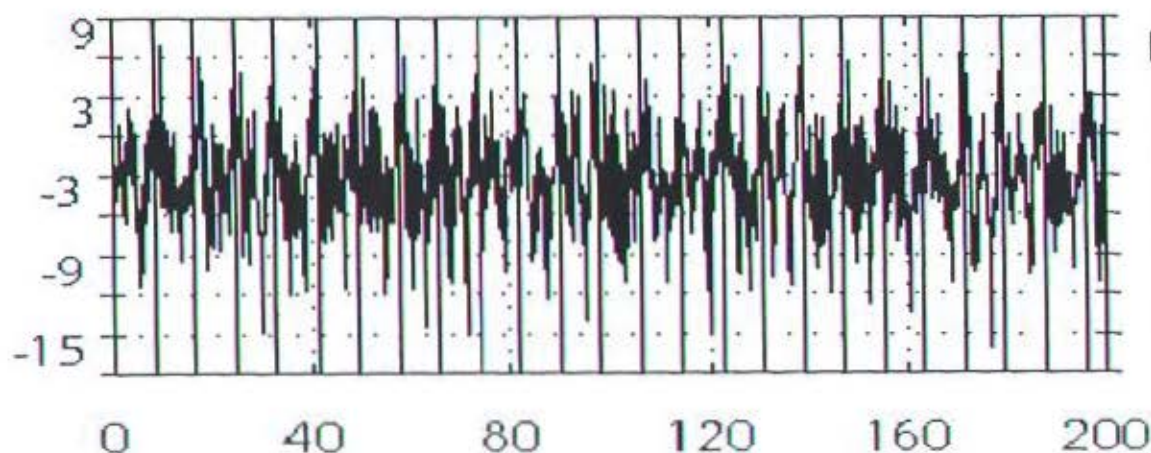
P-P Microns



ROUTE SPECTRUM
06-MAY-99 09:11:12
OVRALL= 5.12 V-AN
P-P = 6.99
LOAD = 100.0
RPM = 7344.
RPS = 122.40

Frequency in Order

Vel in mm/Sec



ROUTE WAVEFORM
06-MAY-99 09:11:12
PK = 5.23
PK(+) = .3869
PK(-) = .5173
CRESTF = 3.55

Ordr:

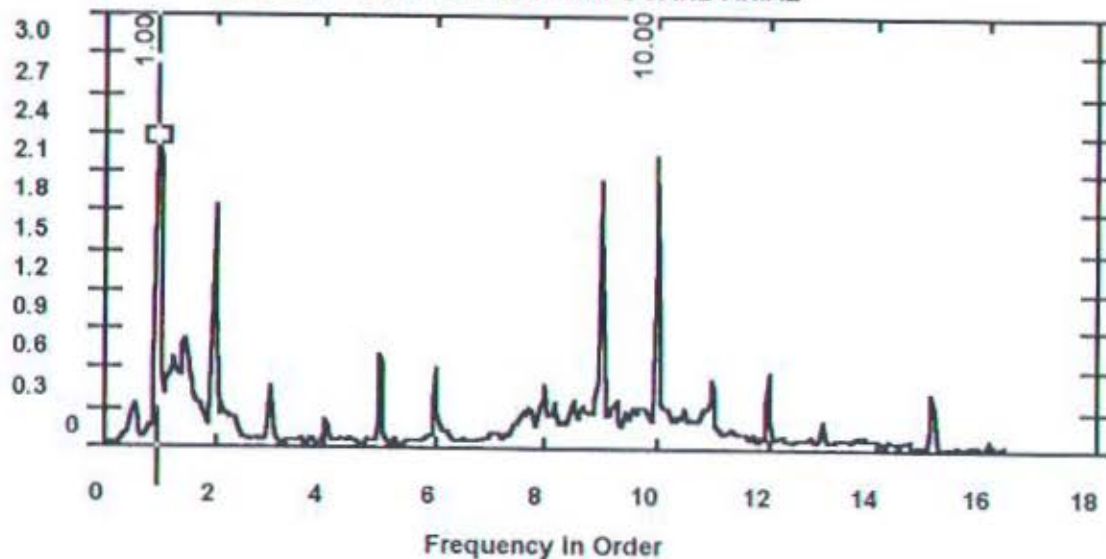
120.00
4.560

Time in mSecs

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -POA MPOMPA OUT BOARD AXIAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM

03-JUN-99 09:41:57

OVRALL= 5.48 V-AN

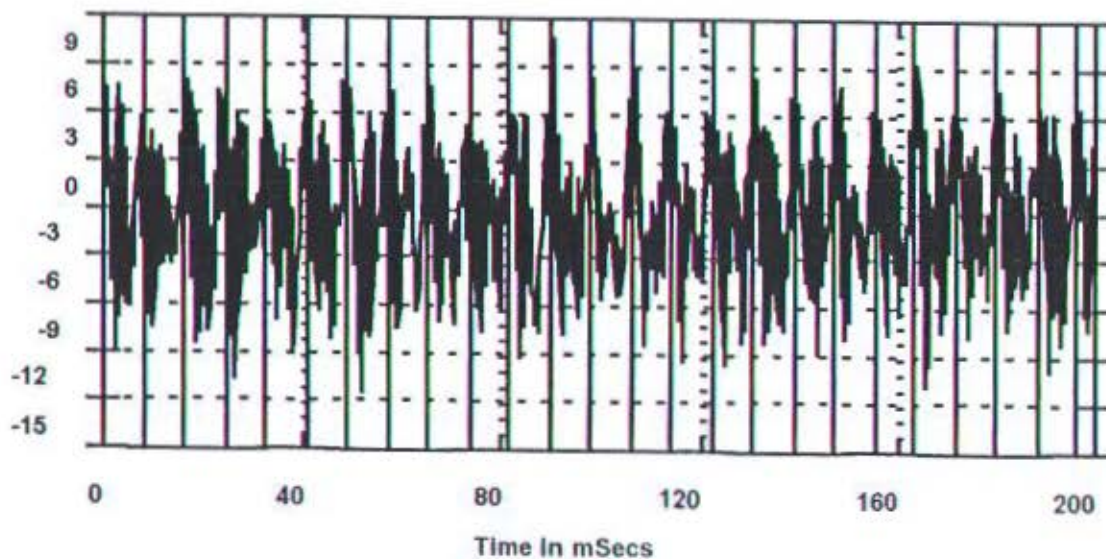
PK = 5.77

LOAD = 100.0

RPM = 7347.

RPS = 122.44

Velocity in mm/Sec



ROUTE WAVEFORM

03-JUN-99 09:41:57

PK = 5.71

PK(+) = 10.79

PK(-) = 11.42

CRESTF= 2.83

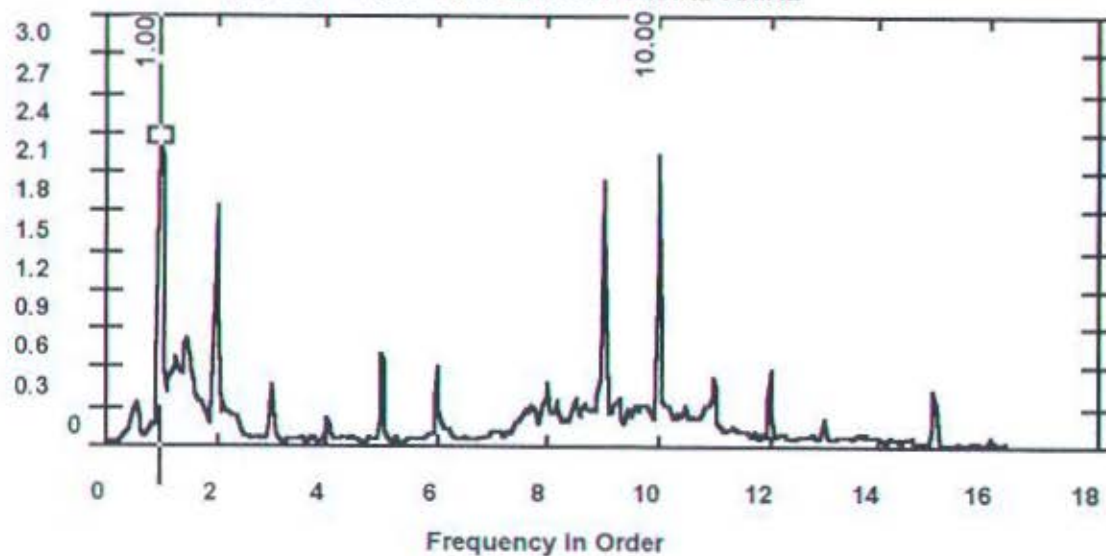
Ordr: .980

Freq: 120.00

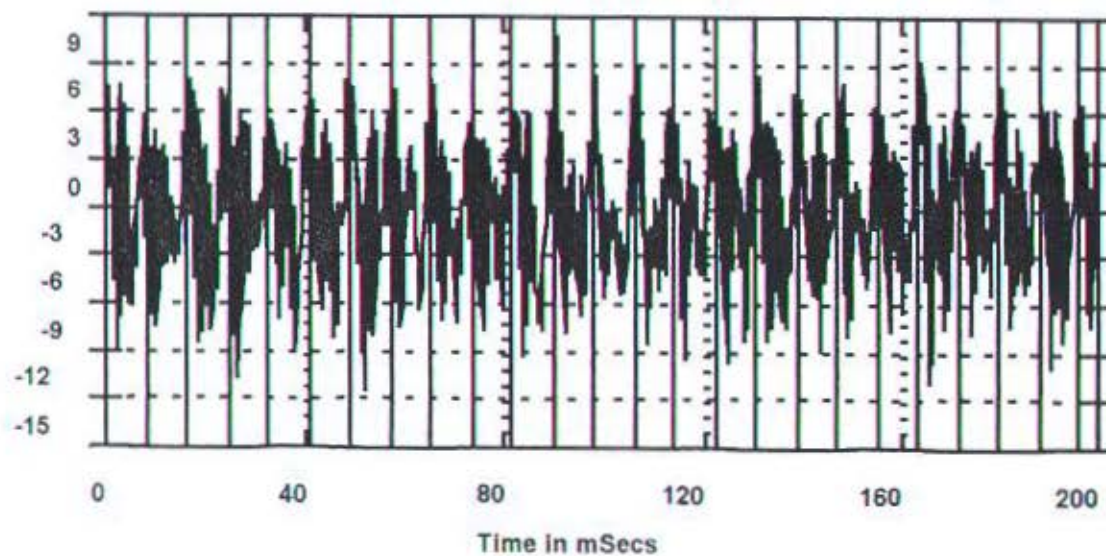
Spec: 2.315

BFP-3B -POA MPOMPA OUT BOARD AXIAL

PK Velocity in mm/Sec



Velocity in mm/Sec

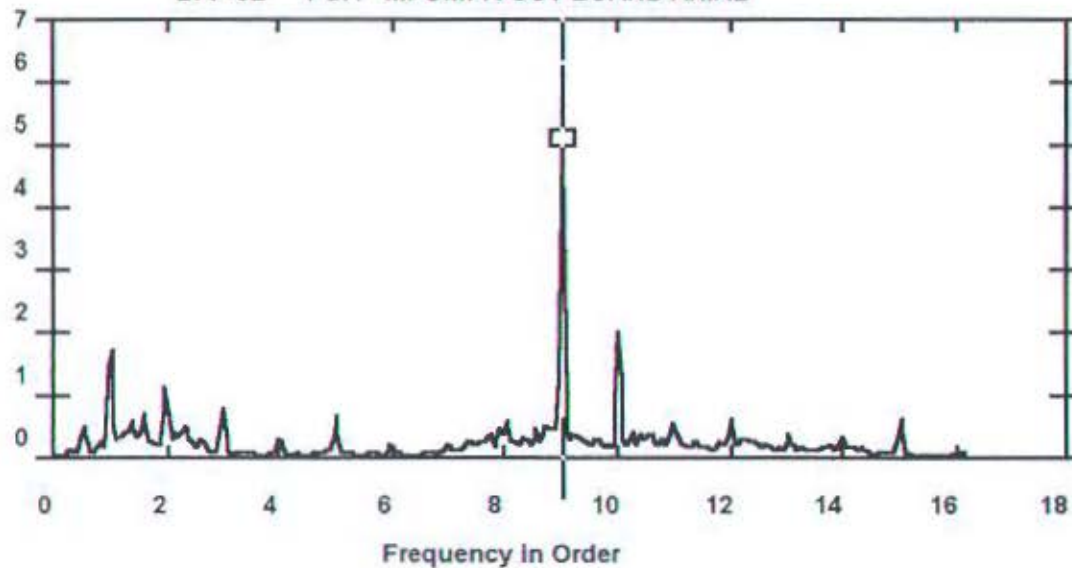


Ordr: .980
Freq: 120.00
Spec: 2.315

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

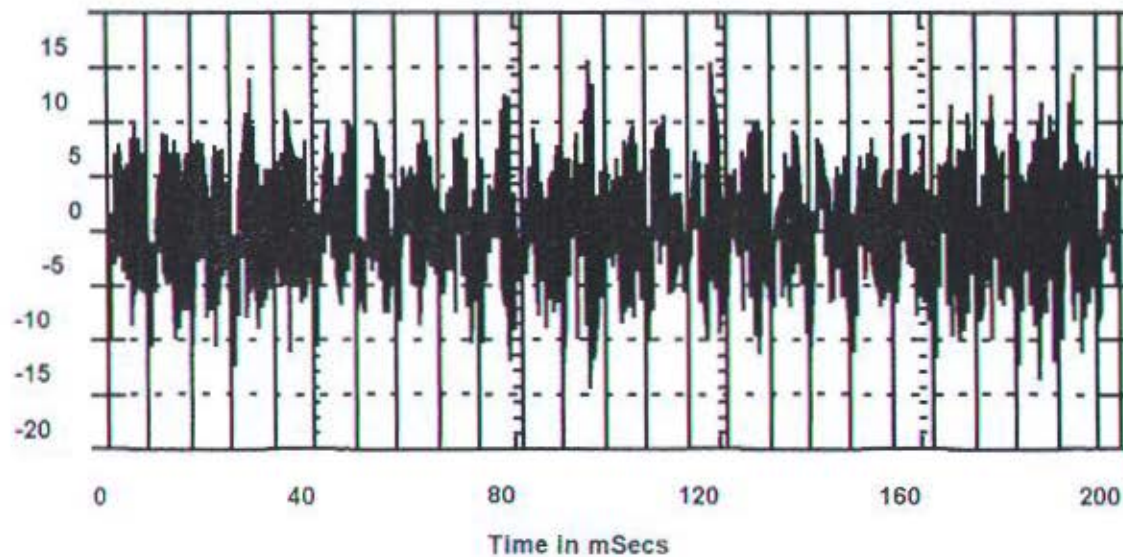
BFP-3B -POA MPOMPA OUT BOARD AXIAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
01-JUL-99 08:35:03
OVRALL= 7.58 V-AN
PK = 7.56
LOAD = 100.0
RPM = 7379.
RPS = 122.98

Velocity in mm/Sec



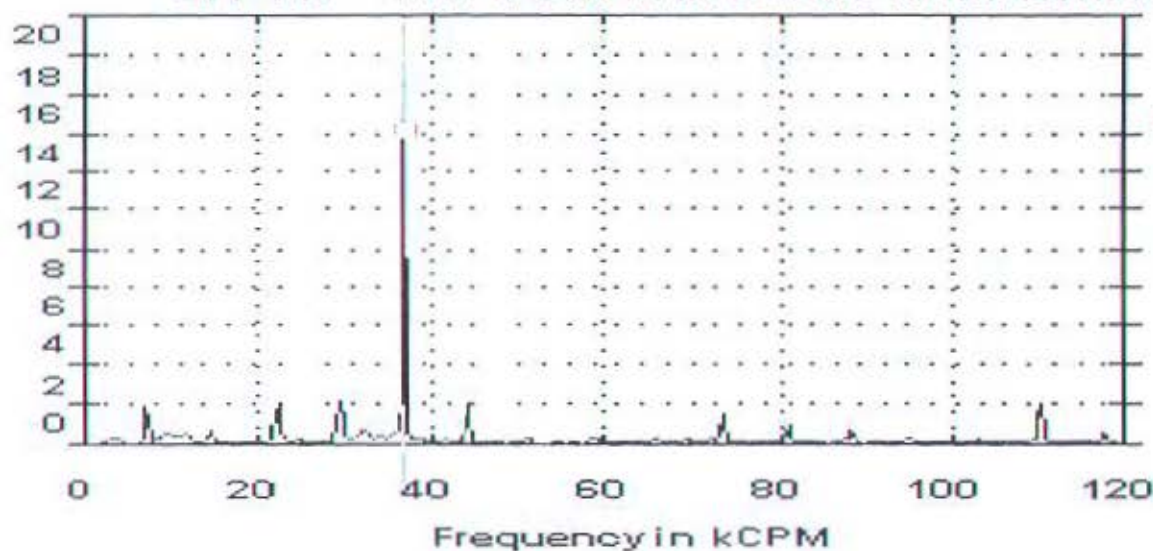
ROUTE WAVEFORM
01-JUL-99 08:35:03
PK = 7.59
PK(+) = 15.47
PK(-) = 14.37
CRESTF= 2.88

Ordr: 8.985
Freq: 1105.0
Spec: 4.980

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

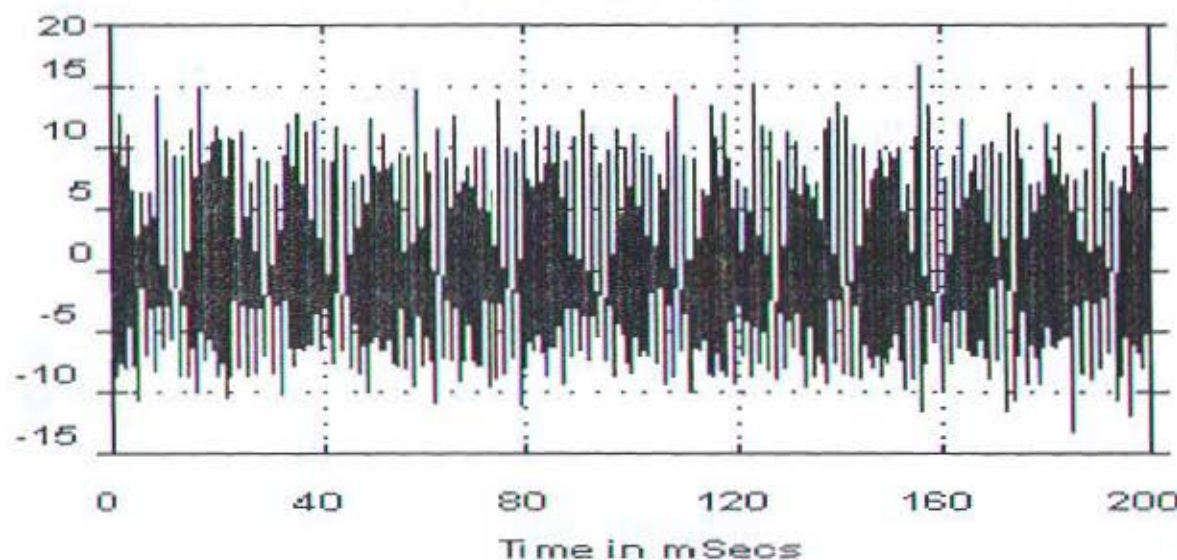
BFP-3B -PIH POMPA IN BOARD HORIZONTAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
21-JAN-98 09:16:45
OVRALL= 18.78 V-DG
PK = 18.70
LOAD = 100.0
RPM = 7359.
RPS = 122.65

Acceleration in G-s



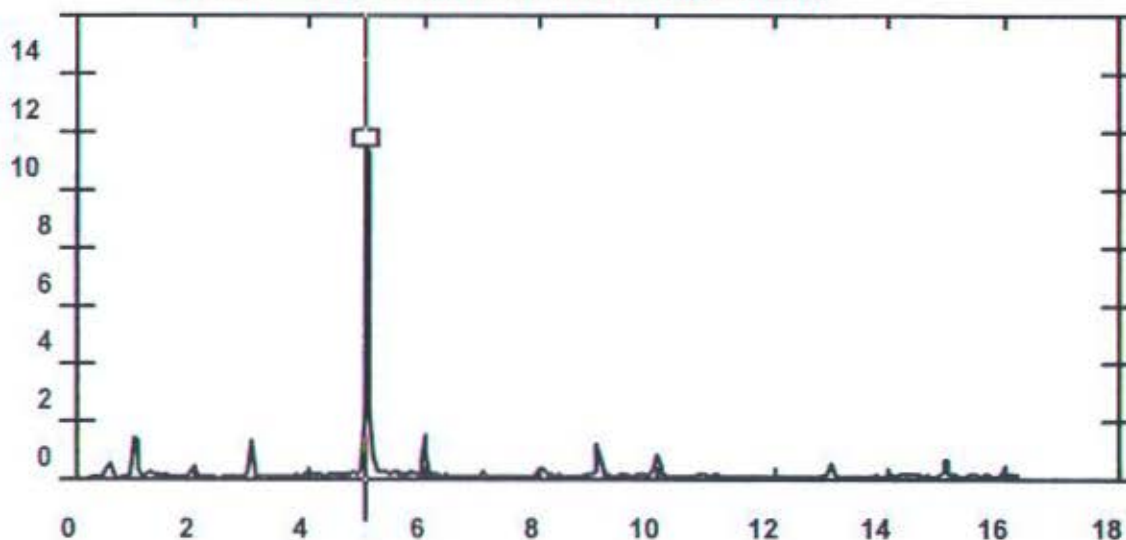
WAVEFORM DISPLAY
21-JAN-98 09:16:45
RMS = 5.84
PK(+) = 16.62
PK(-) = 13.09
CRESTF= 2.85

Freq: 36.30
Unit: 5.014
Spw: 15.73

Unit: 1.0000000000000000

BFP-3B -PIH POMPA IN BOARD HORIZONTAL

PK Velocity in mm/Sec



Frequency in Order

ROUTE SPECTRUM

05-FEB-98 09:53:25

OVRALL= 14.20 V-DG

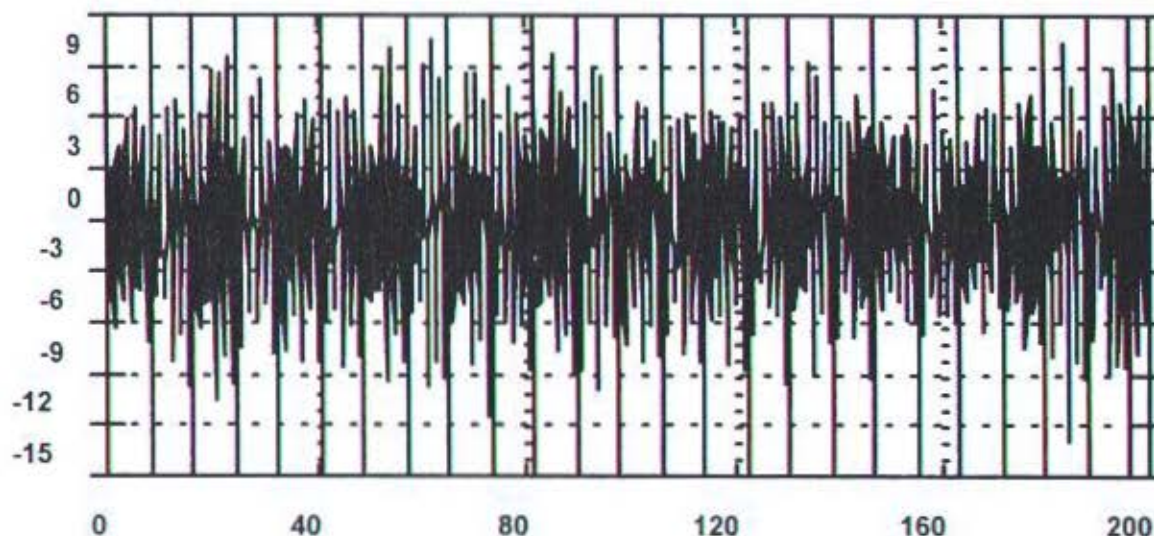
PK = 14.11

LOAD = 100.0

RPM = 7349.

RPS = 122.49

Acceleration in G-s



Time in mSecs

WAVEFORM DISPLAY

05-FEB-98 09:53:25

RMS = 4.26

PK(+) = 10.52

PK(-) = 12.85

CRESTF= 3.01

Ordr: 4.980

Freq: 610.00

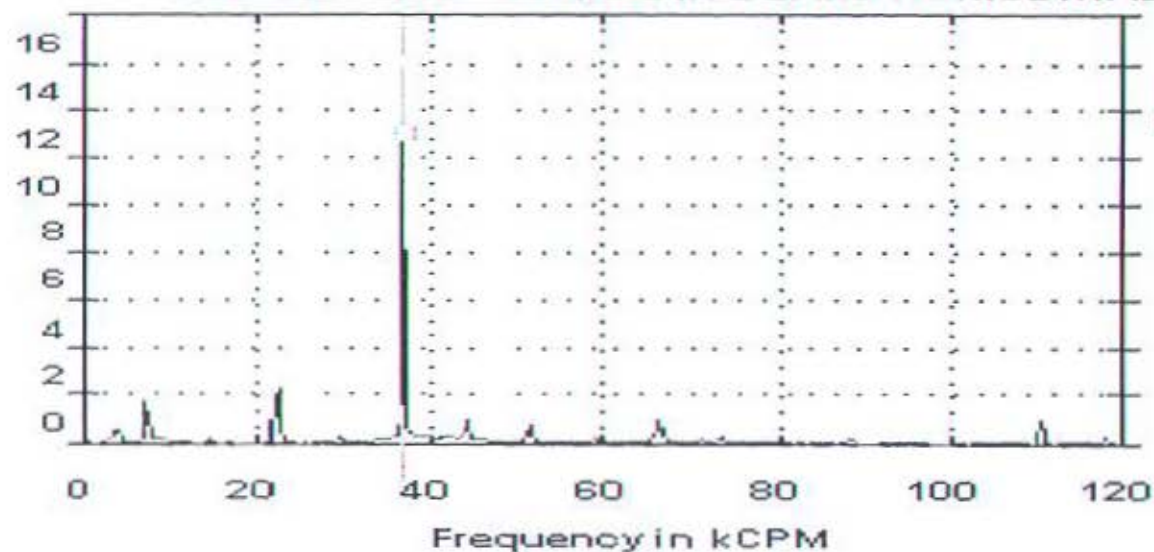
Spec: 11.50

Label: Time Waveform Impacting

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

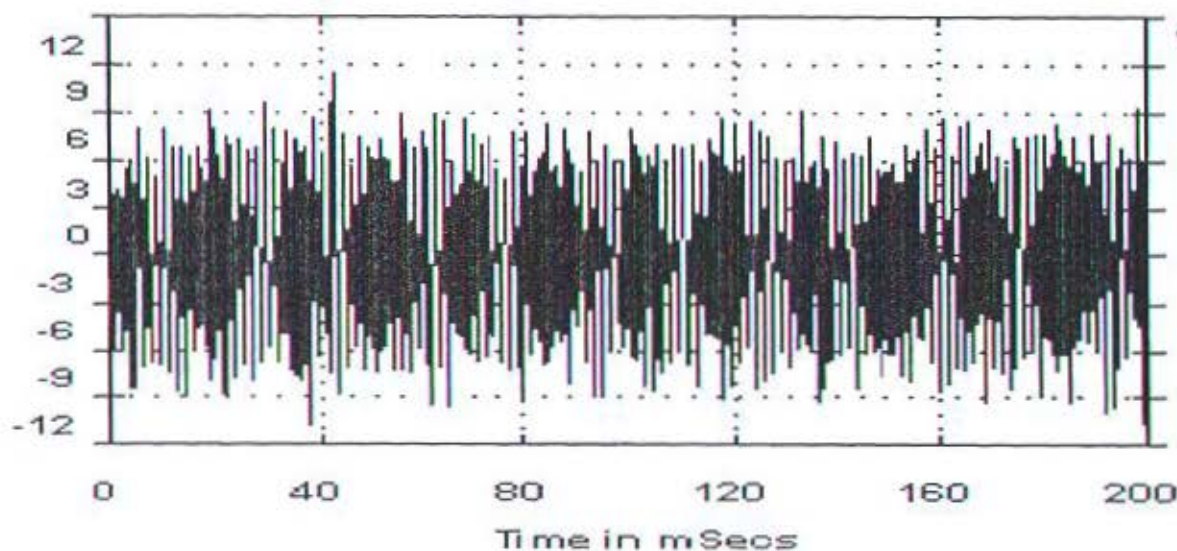
BFP-3B -PIH POMPA IN BOARD HORIZONTAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
05-MAR-98 09:27:28
OVRALL= 14.50 V-DG
PK = 14.39
LOAD = 100.0
RPM = 7360.
RPS = 122.67

Acceleration in G-s



WAVEFORM DISPLAY
05-MAR-98 09:27:28
RMS = 4.66
PK(+) = 11.41
PK(-) = 10.79
CRESTF= 2.45

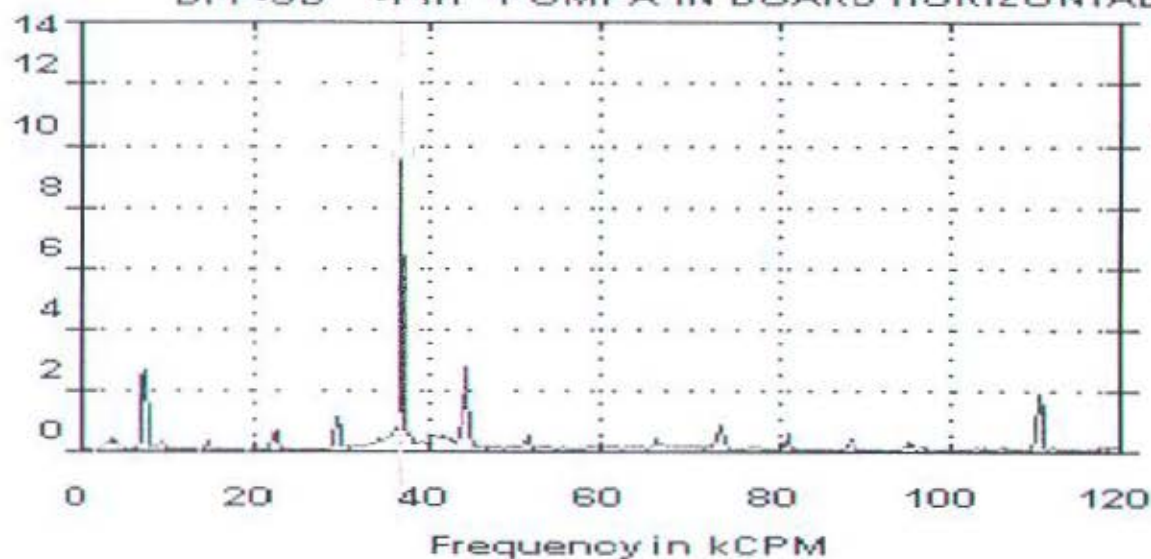
Freq: 36.500
Gnd: 5.013
Speed: 12384

1.0000 - Period of Next Display: 1.0000

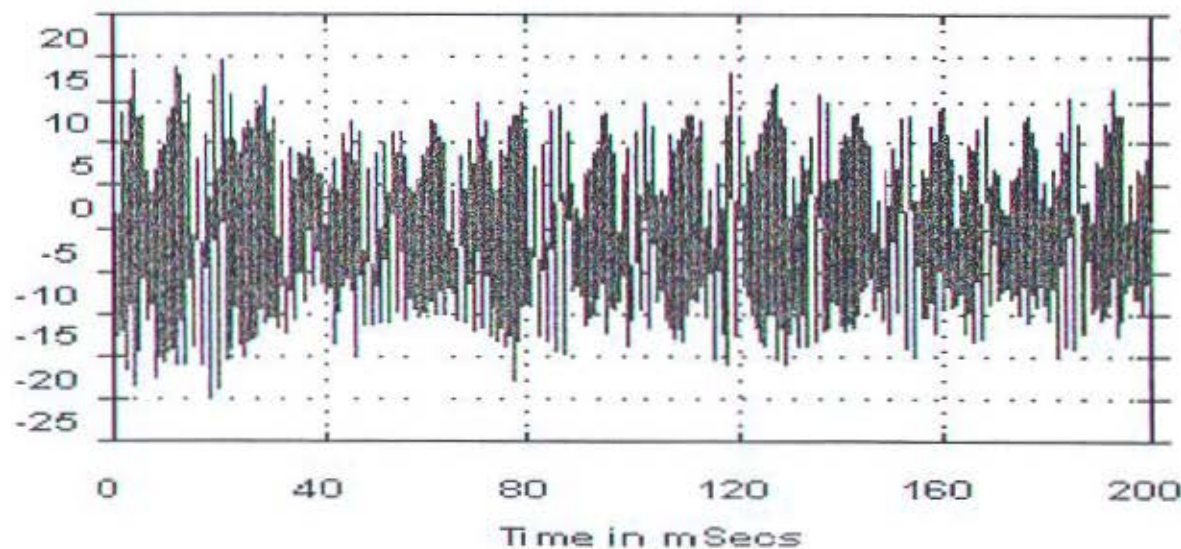
TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -PIH POMPA IN BOARD HORIZONTAL

PK Velocity in mm/Sec

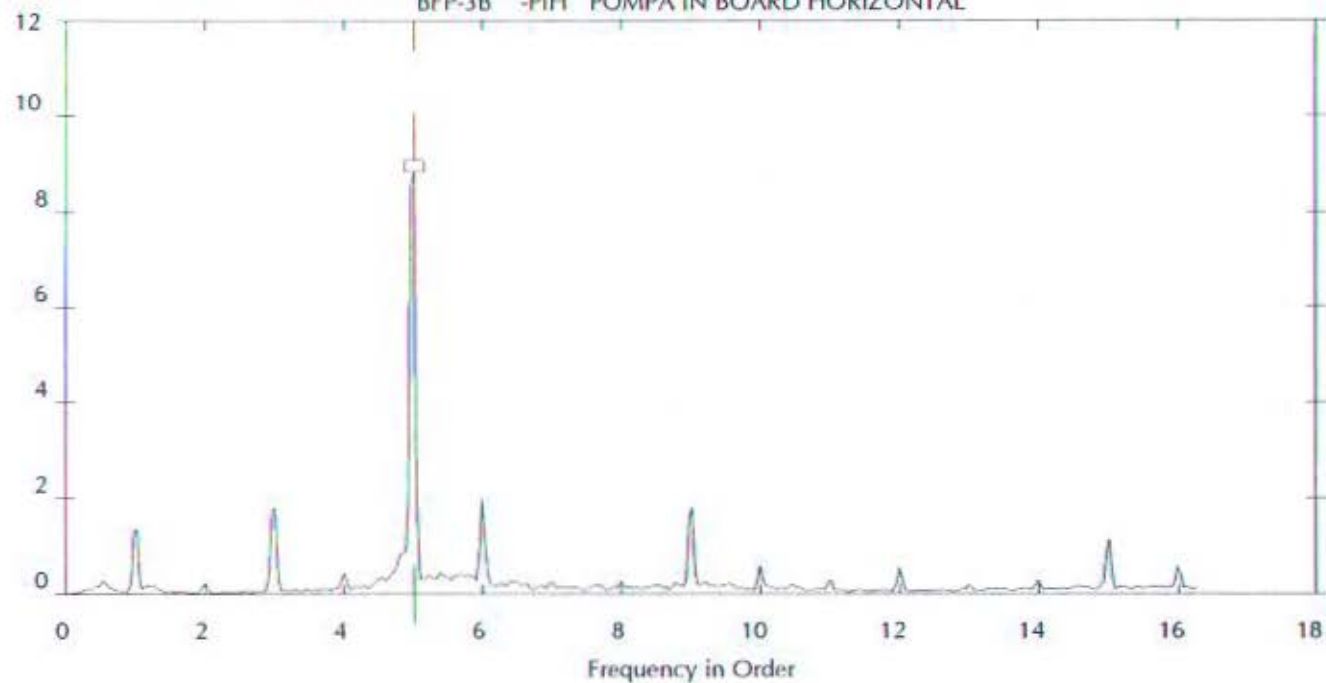


Velocity in mm/Sec

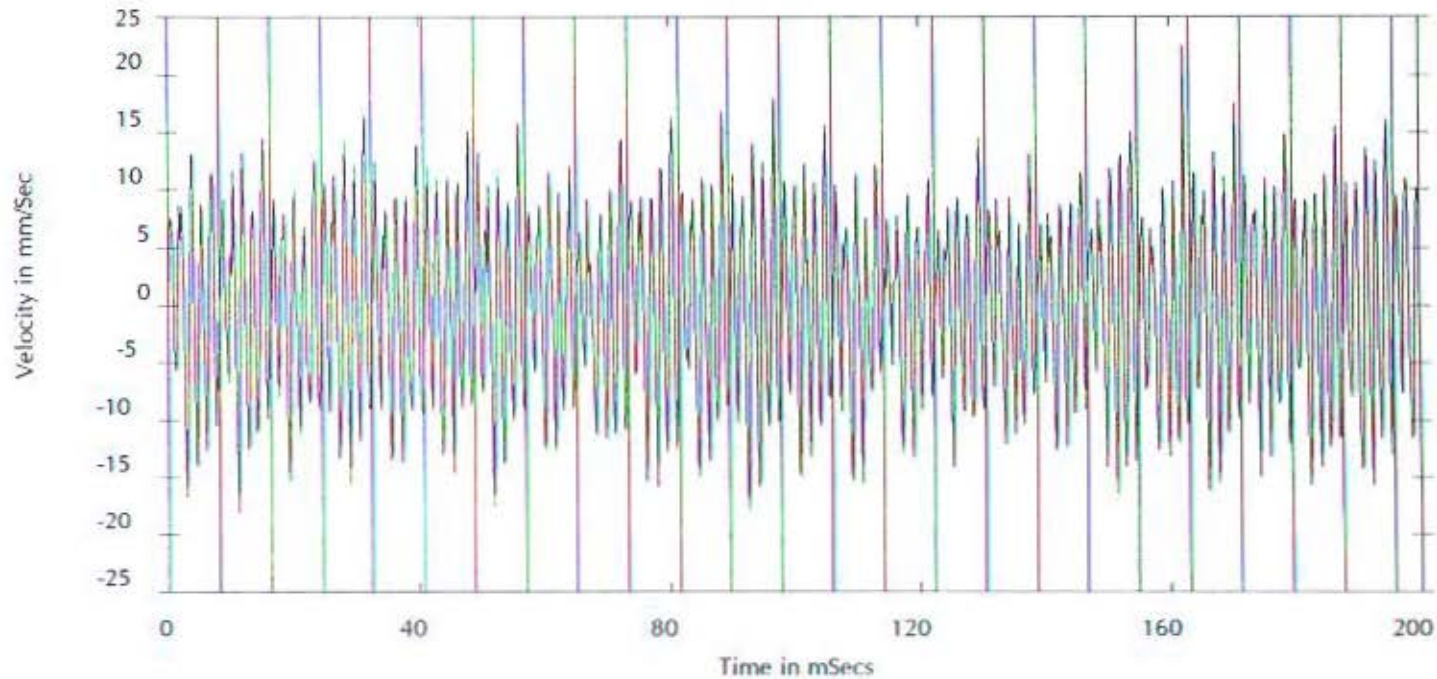


Freq: 36.50
Ordr: 5.000
Spec: 3.610

BFP-3B -PIH POMPA IN BOARD HORIZONTAL



ROUTE SPECTRUM
 17-DEC-98 14:22:37
 OVRALL = 11.54 V-AN
 PK = 11.46
 LOAD = 100.0
 RPM = 7357.
 RPS = 122.62



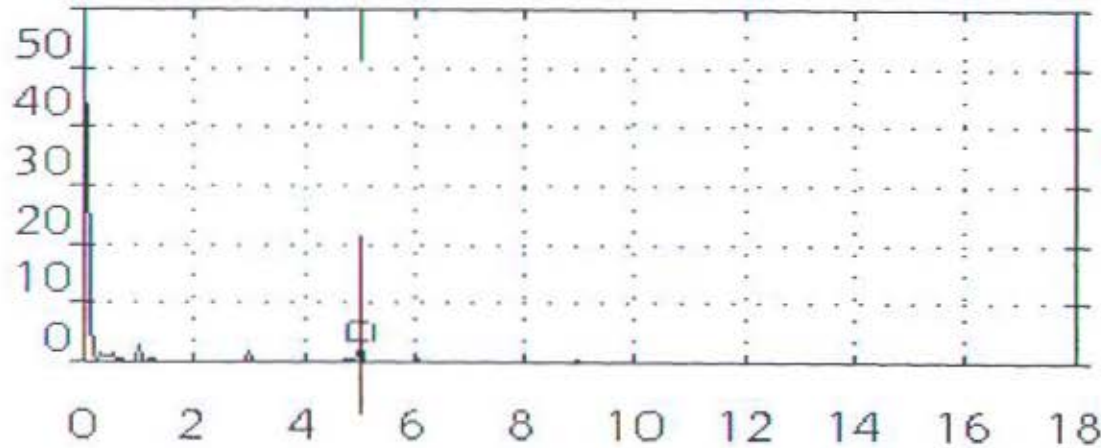
WAVEFORM DISPLAY
 17-DEC-98 14:22:37
 PK = 11.02
 PK(+) = .8875
 PK(-) = .7127
 CRESTF = 2.89

Ordr: 5.015
 Freq: 615.00
 Spec: 8.839

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -PIH POMPA IN BOARD HORIZONTAL

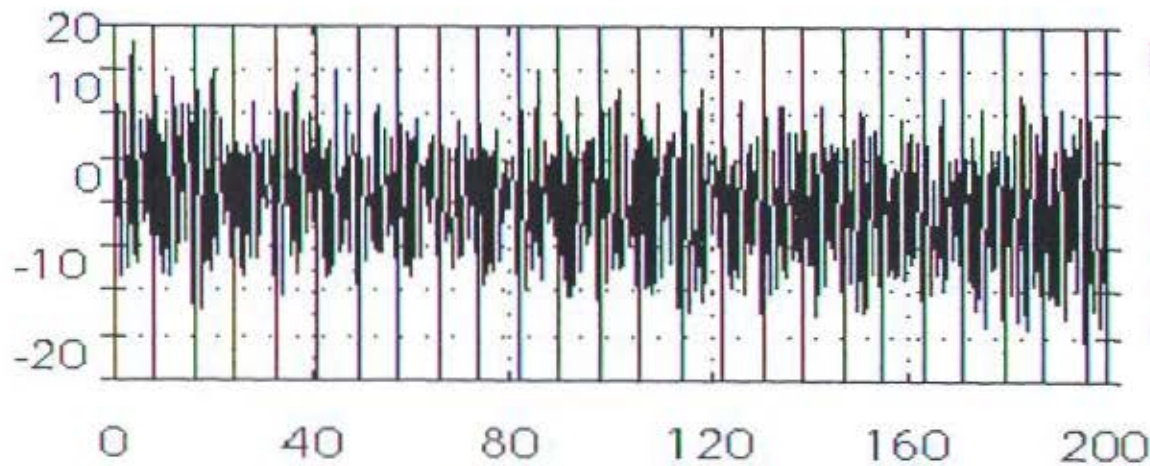
P-P Microns



ROUTE SPECTRUM
06-MAY-99 09:10:05
OVRALL = 9.33 V-AN
P-P = 36.78
LOAD = 100.0
RPM = 7350.
RPS = 122.49

Frequency in Order

Vel in mm/Sec



ROUTE WAVEFORM
06-MAY-99 09:10:05
PK = 9.02
PK(+) = .7160
PK(-) = .6654
CRESTF = 2.85

Ordr:

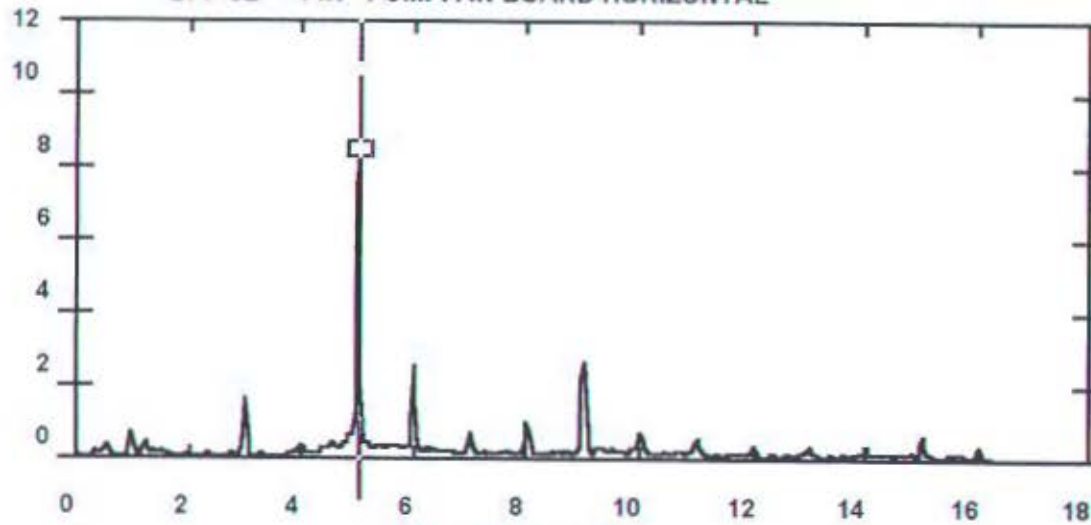
610.00
3.542

Time in mSecs

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

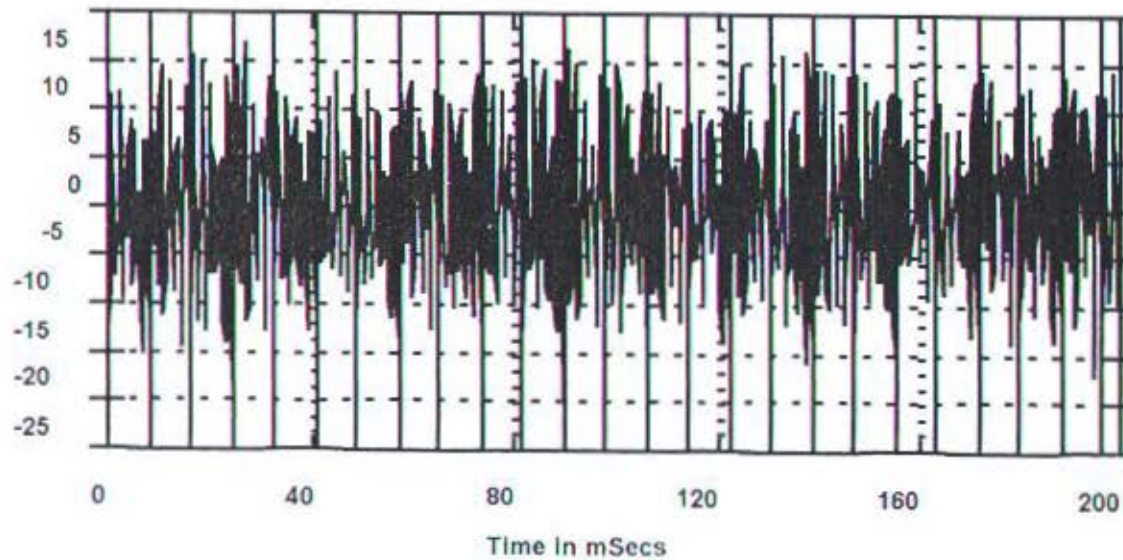
BFP-3B -PIH POMPA IN BOARD HORIZONTAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
03-JUN-99 09:46:20
OVRALL= 10.85 V-AN
PK = 10.96
LOAD = 100.0
RPM = 7356.
RPS = 122.59

Velocity in mm/Sec



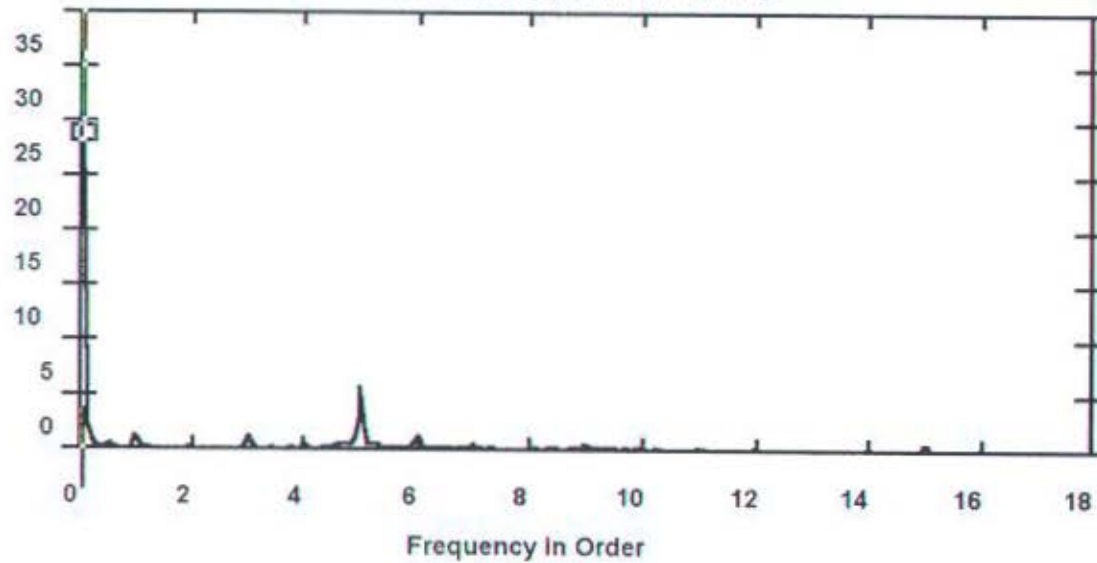
ROUTE WAVEFORM
03-JUN-99 09:46:20
PK = 10.76
PK(+) = 16.83
PK(-) = 20.97
CRESTF= 2.76

Ordr: 5.017
Freq: 615.00
Spec: 8.312

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -PIH POMPA IN BOARD HORIZONTAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM

01-JUL-99 08:34:02

OVALL= 7.54 V-AN

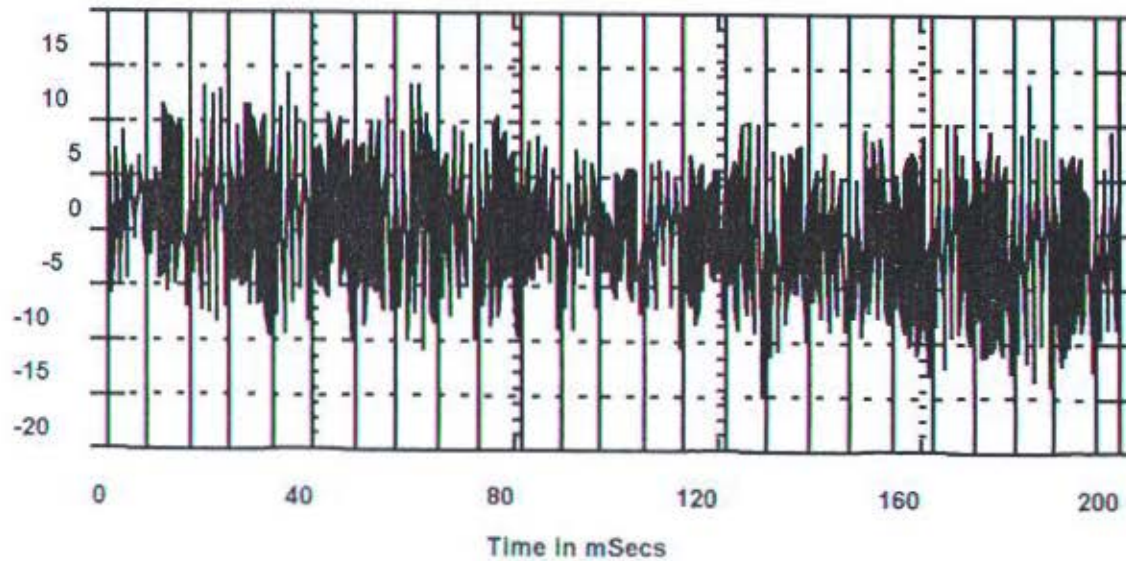
PK = 24.68

LOAD = 100.0

RPM = 7389.

RPS = 123.15

Velocity in mm/Sec



ROUTE WAVEFORM

01-JUL-99 08:34:02

PK = 8.21

PK(+) = 14.22

PK(-) = 14.92

CRESTF= 2.57

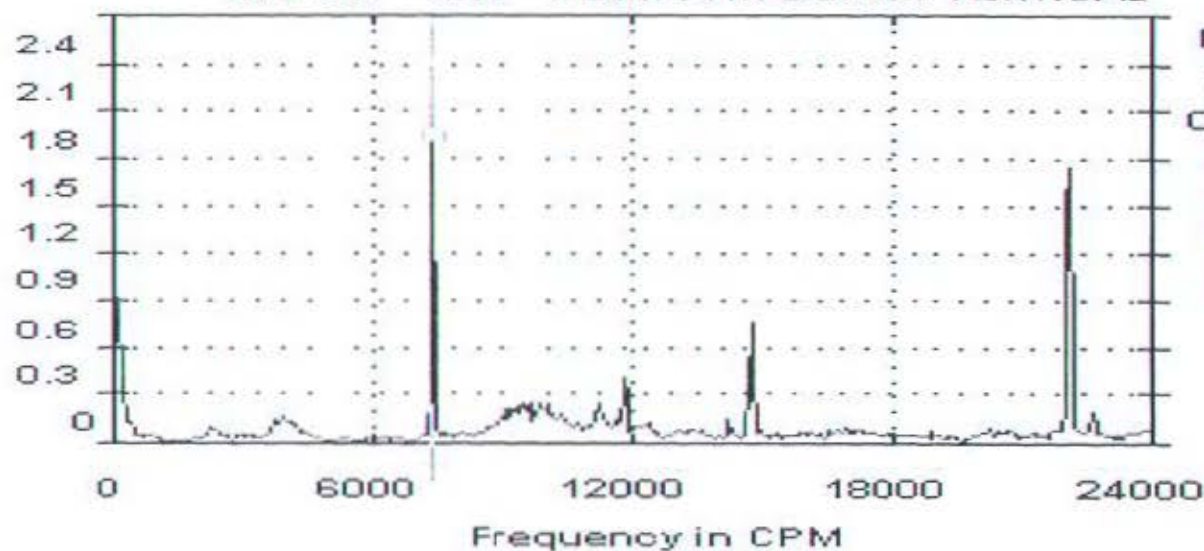
Ordr: .08120

Freq: 10.00

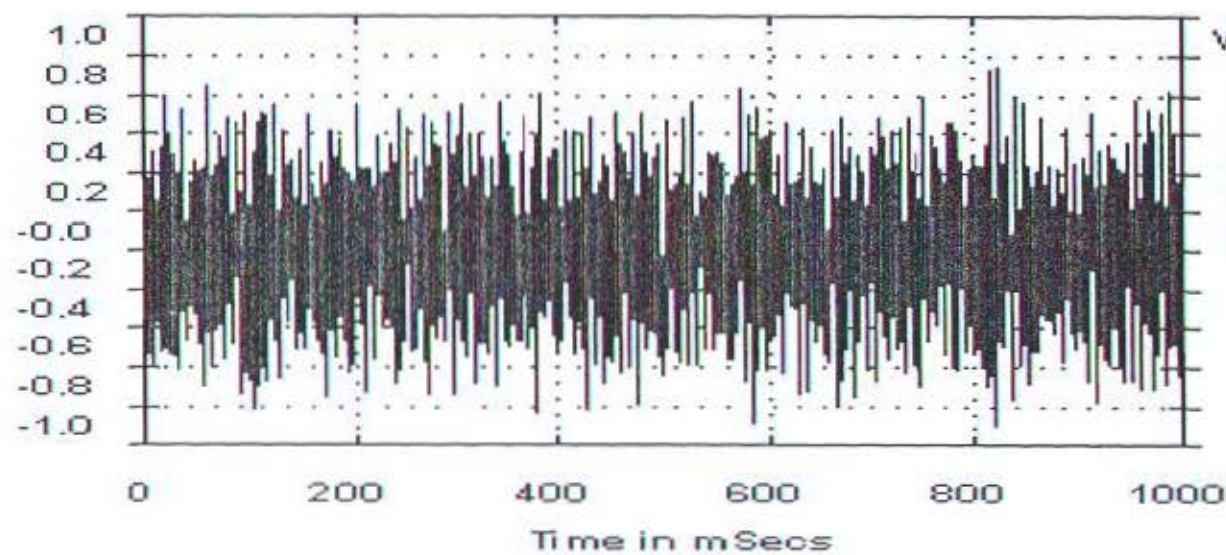
Spec: 28.06

PK Velocity in mm/Sec

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B
BFP-3B -PIV POMPA IN BOARD VERTICAL

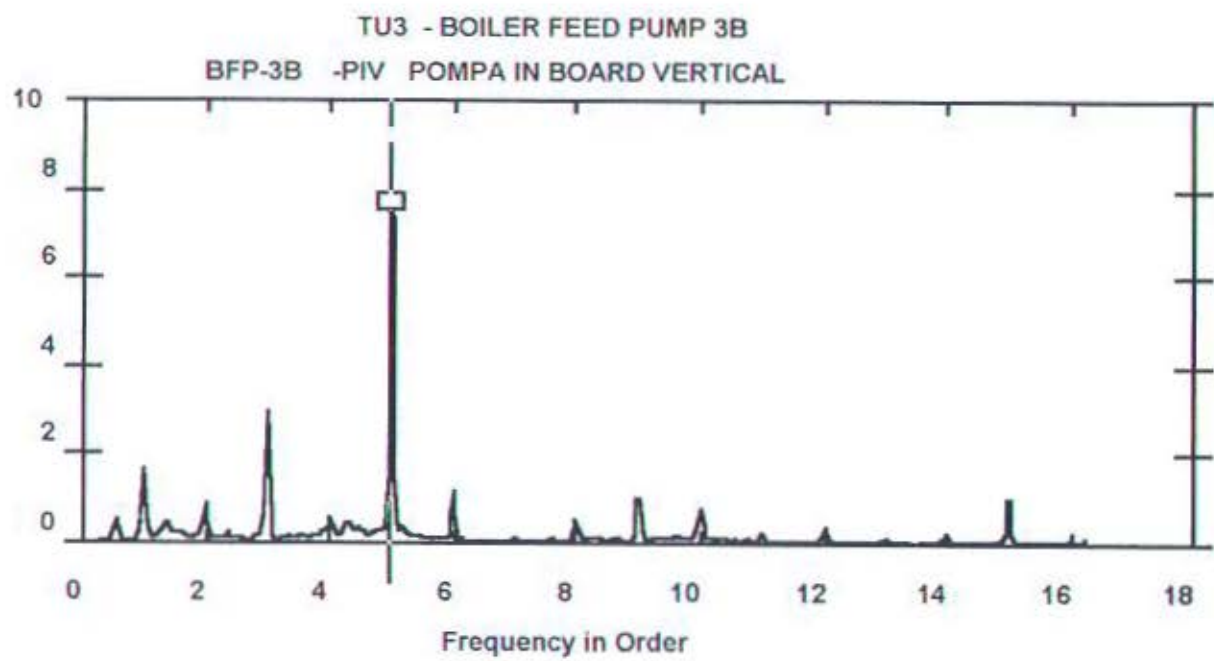


Acceleration in G-s

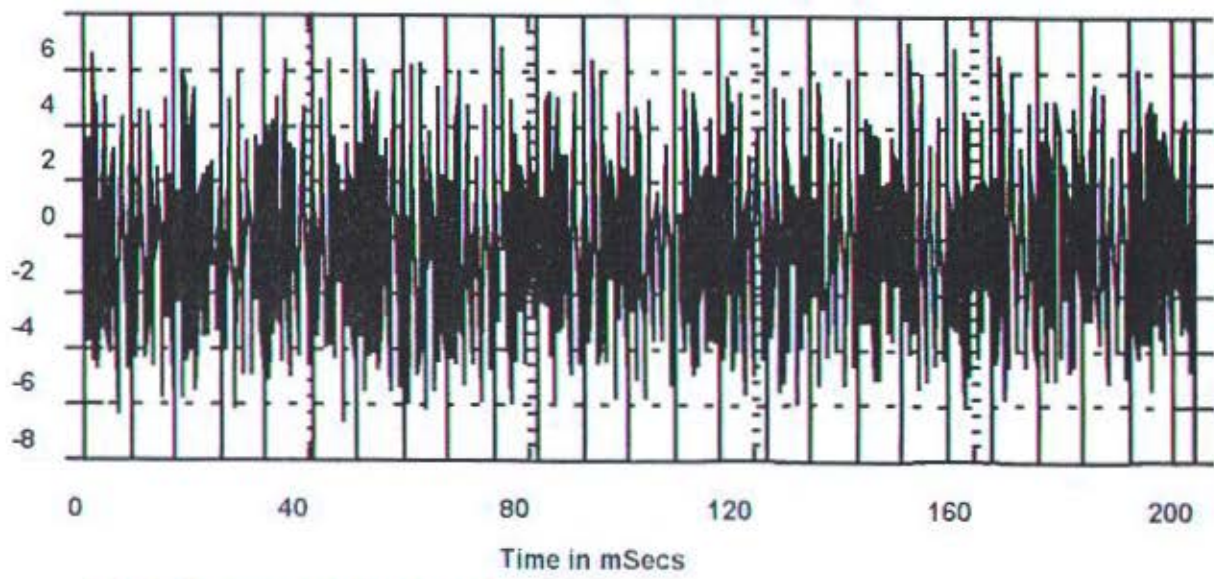


Freq 73500
CR 1000
Type 1512

PK Velocity in mm/Sec



Acceleration in G-s

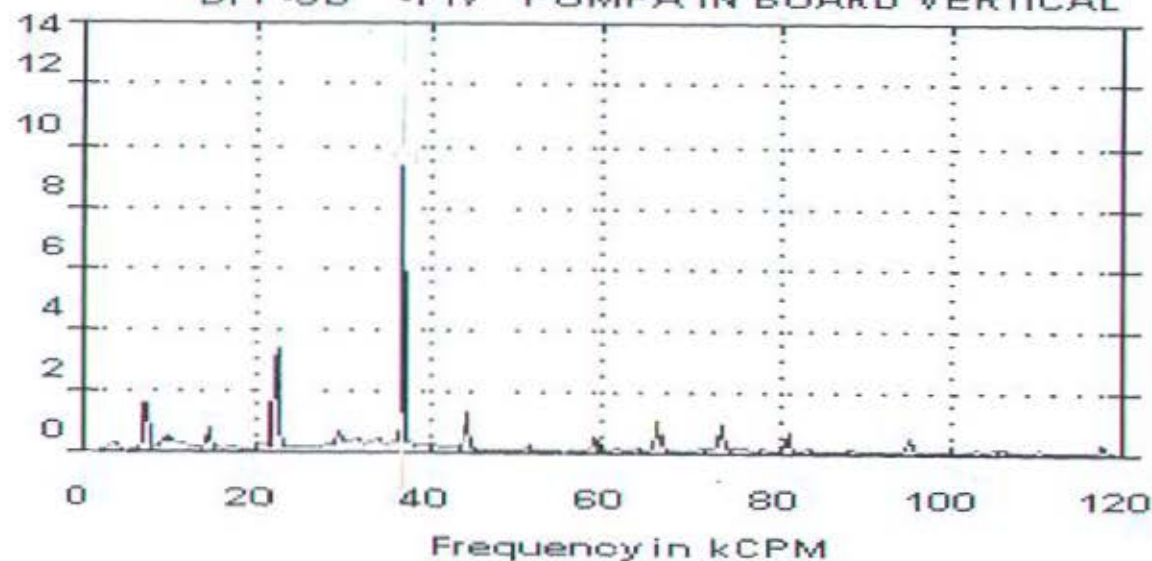


Label: Unmatched Nspectr fault

Ordr:	4.978
Freq:	610.00
Spec:	7.541

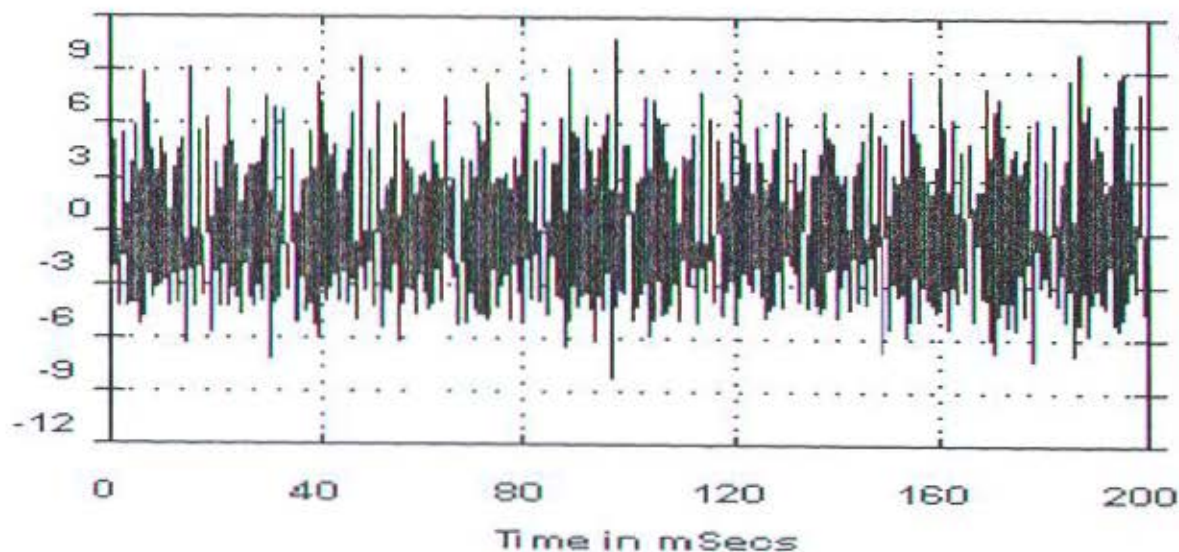
TU3 - BOILER FEED PUMP 3B
BFP-3B -PIV POMPA IN BOARD VERTICAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
05-MAR-98 09:27:46
OVRALL= 11.58 V-DG
PK = 11.55
LOAD = 100.0
RPM = 7356.
RPS = 122.60

Acceleration in G-s



WAVEFORM DISPLAY
05-MAR-98 09:27:46
RMS = 3.34
PK(+) = 10.83
PK(-) = 8.27
CRESTF= 3.25

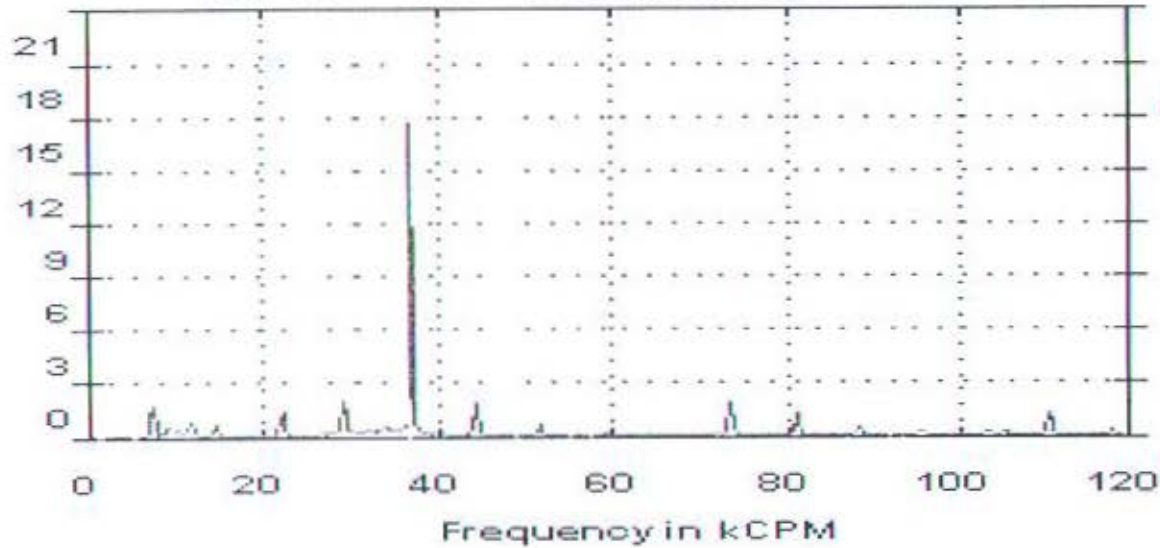
Time = 50.00
Date = 5/1/98
Speed = 13400

Printed: 05/01/98 10:00

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

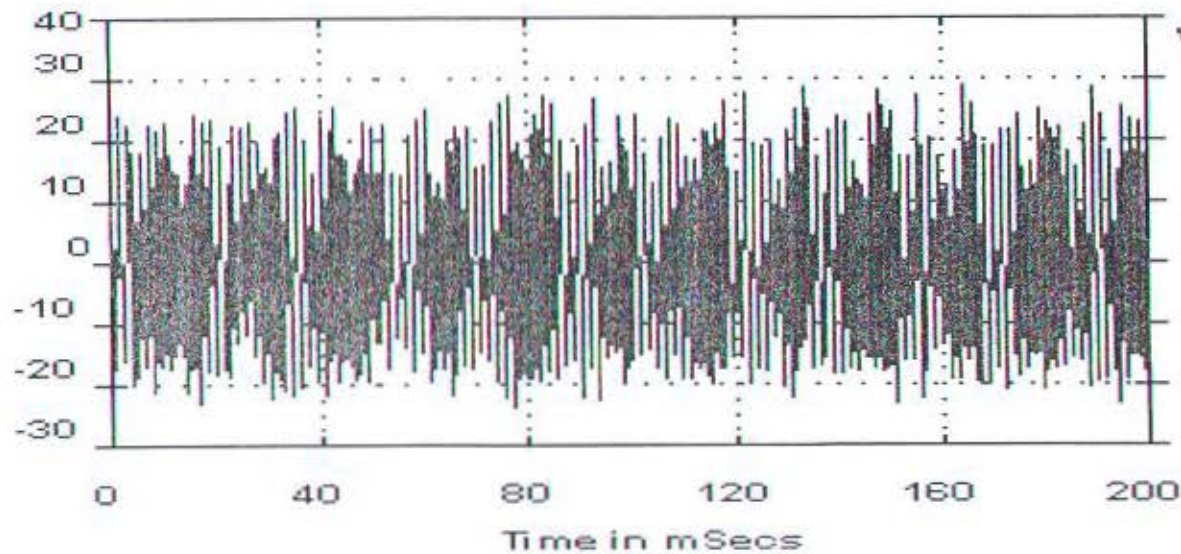
BFP-3B -PIV POMPA IN BOARD VERTICAL

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
18-SEP-98 10:10:09
OVRALL= 19.43 V-AN
PK = 19.39
LOAD = 100.0
RPM = 7366.
RPS = 122.77

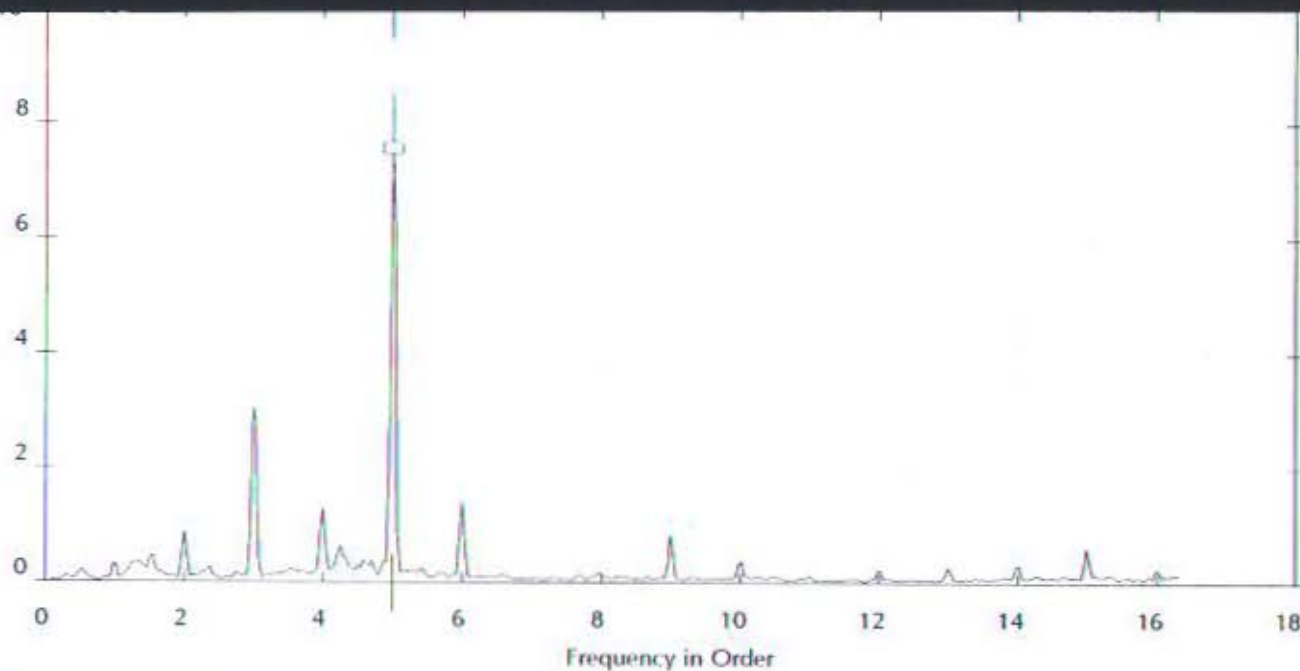
Velocity in mm/Sec



WAVEFORM DISPLAY
18-SEP-98 10:10:09
PK = 19.03
PK(+) = 1.14
PK(-) = .9275
CRESTF= 2.16

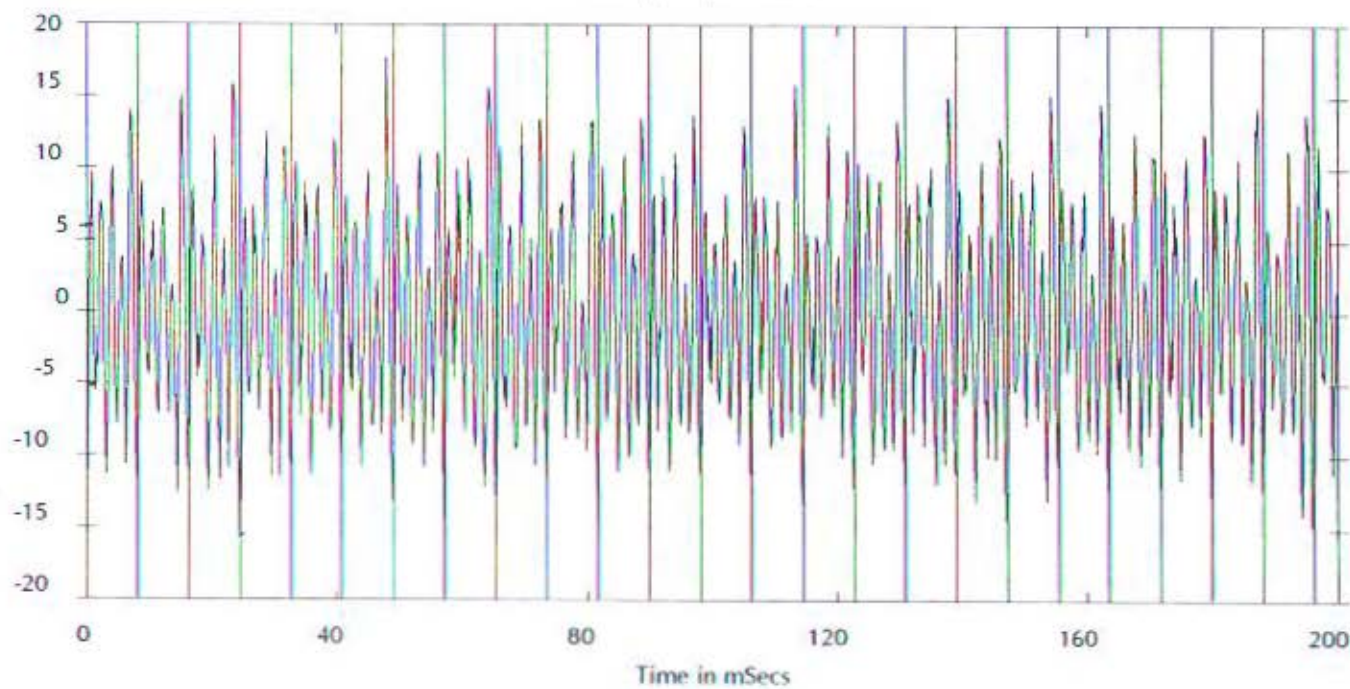
PK(+) 1.14
PK(-) .9275
CRESTF 2.16

PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
17-DEC-98 14:23:08
OVRALL = 9.70 V-AN
PK = 9.43
LOAD = 100.0
RPM = 7341.
RPS = 122.34

Velocity in mm/Sec



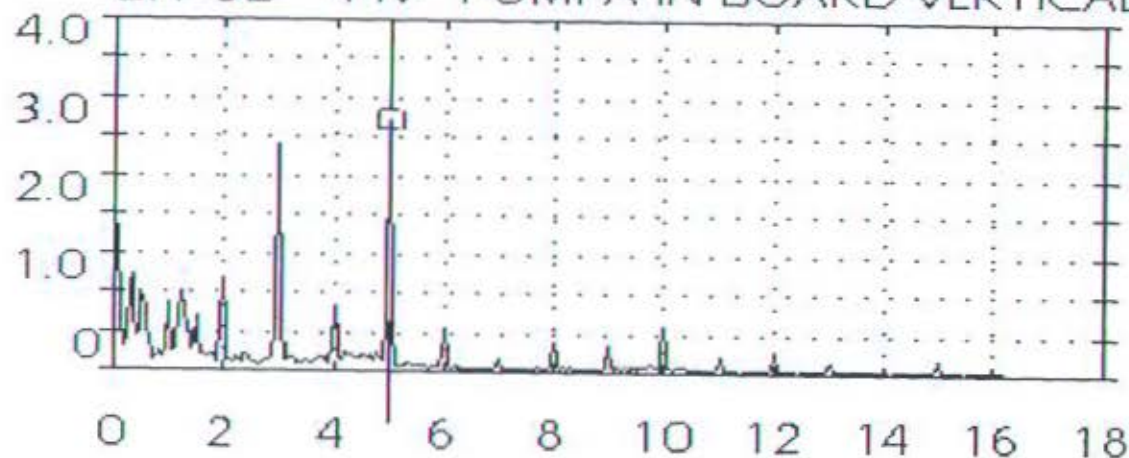
WAVEFORM DISPLAY
17-DEC-98 14:23:08
PK = 9.61
PK(+) = .6969
PK(-) = .6035
CRESTF = 2.60

Ordr: 5.000
Freq: 611.77
Spec: 8.103

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -PIV POMPA IN BOARD VERTICAL

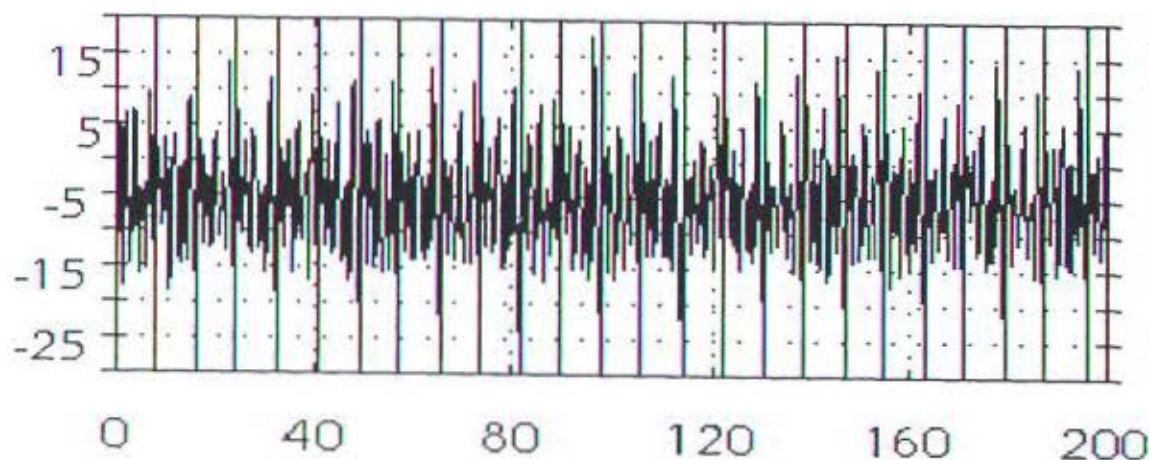
P-P Microns



ROUTE SPECTRUM
06-MAY-99 09:10:16
OVRALL= 10.09 V-AN
P-P = 6.47
LOAD = 100.0
RPM = 7350.
RPS = 122.50

Frequency in Order

Vel in mm/Sec



ROUTE WAVEFORM
06-MAY-99 09:10:16
PK = 9.70
PK(+) = .8972
PK(-) = .7347
CRESTF = 3.32

Ordr:

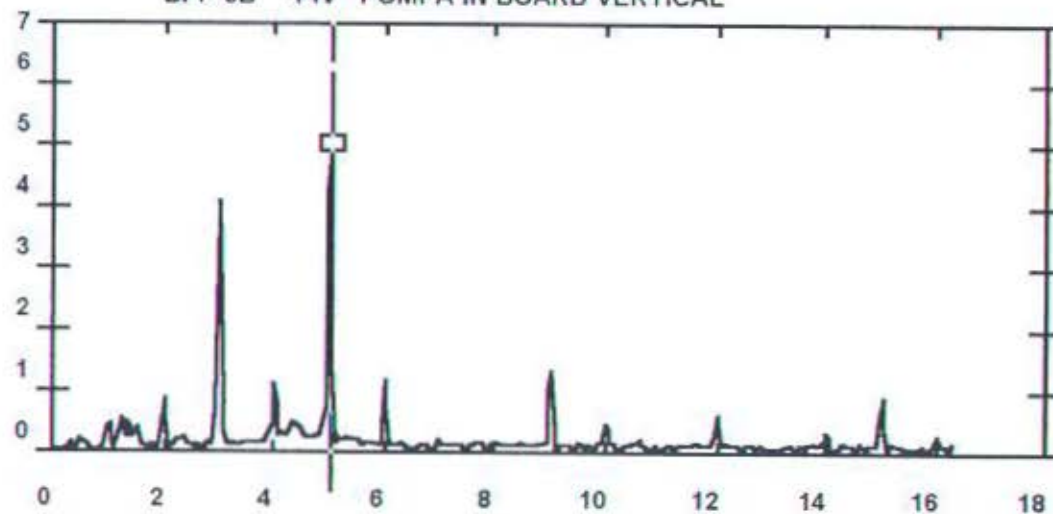
615.00
3.104

Time in mSecs

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B

BFP-3B -PIV POMPA IN BOARD VERTICAL

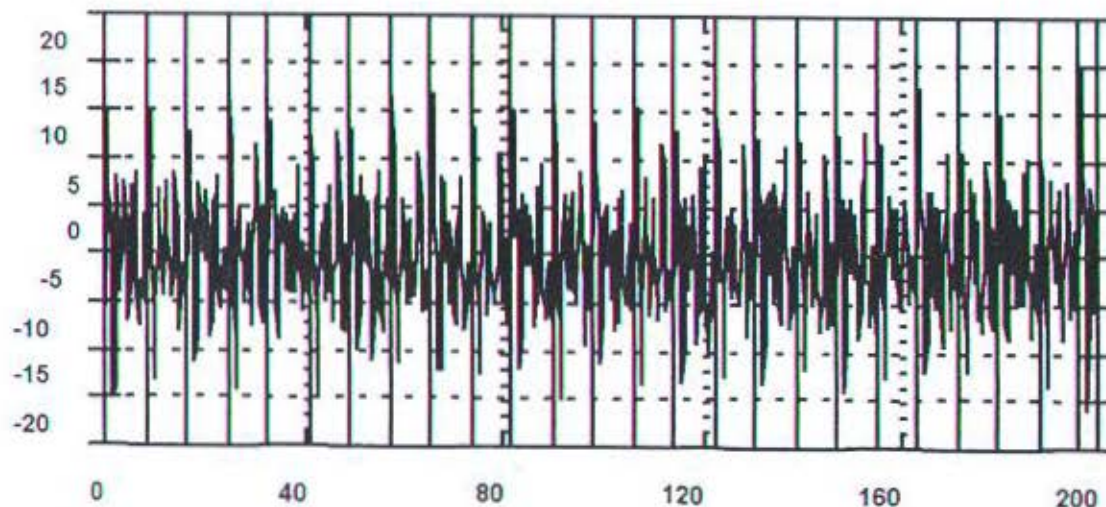
PK Velocity in mm/Sec



ROUTE SPECTRUM
03-JUN-99 09:46:32
OVRALL= 8.61 V-AN
PK = 8.15
LOAD = 100.0
RPM = 7357.
RPS = 122.62

Frequency In Order

Velocity in mm/Sec

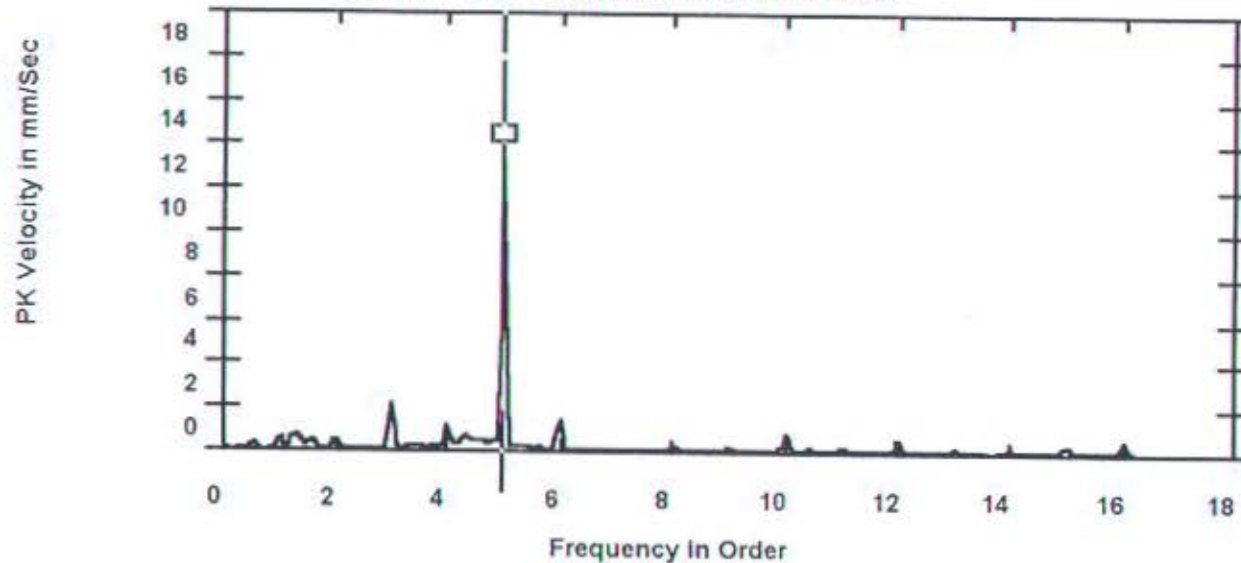


ROUTE WAVEFORM
03-JUN-99 09:46:32
PK = 8.30
PK(+) = 19.76
PK(-) = 15.71
CRESTF= 3.37

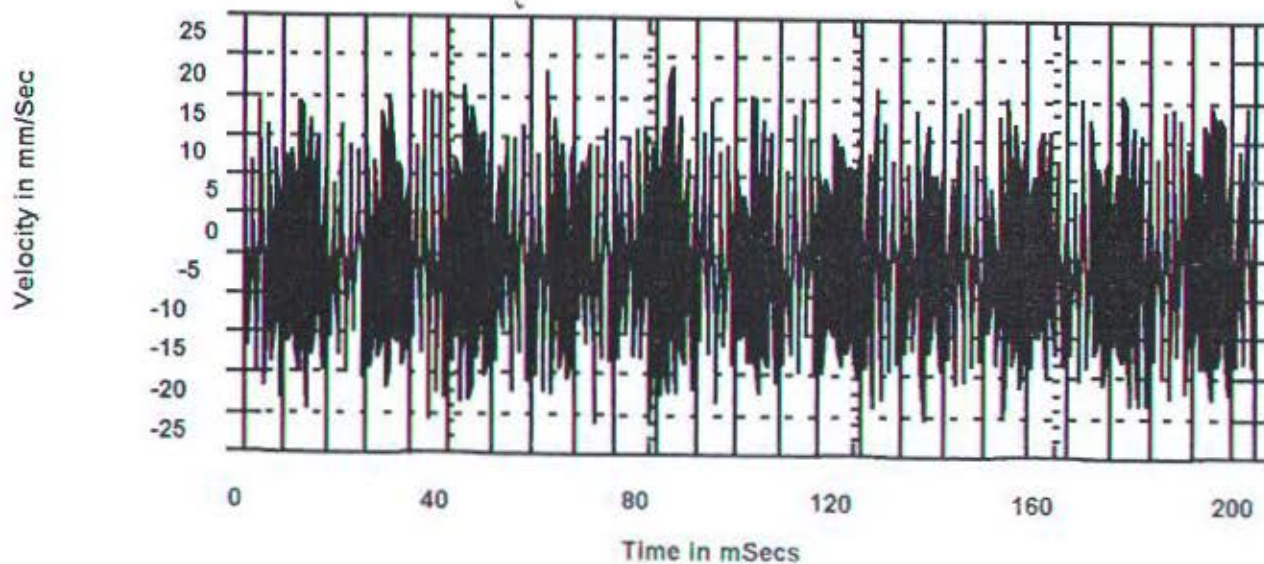
Time in mSecs

Ordr: 5.016
Freq: 615.00
Spec: 4.910

TU3 - BOILER FEED PUMP 3B
BFP-3B -PIV POMPA IN BOARD VERTICAL



ROUTE SPECTRUM
01-JUL-99 08:34:16
OVRALL= 15.34 V-AN
PK = 15.03
LOAD = 100.0
RPM = 7387.
RPS = 123.11



ROUTE WAVEFORM
01-JUL-99 08:34:16
PK = 15.33
PK(+) = 23.82
PK(-) = 21.00
CRESTF= 2.20

Ordr: 4.996
Freq: 615.00
Spec: 14.17

LAMPIRAN C

COMPLETE IN 7 SHEETS WITH COVER

TITLE

PUMP DATA SHEET & PERFORMANCE CURVE
CUSTOMER

ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.

FINAL USER

PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA JAKARTA, INDONESIA

PROJECT	GRESIK STEAM POWER PLANT PROJECT UNIT III AND IV, 2 x 200 MW	SERVICE	BOILER FEED PUMP
JOB No.	5411-431	EBARA SER.No.	RF18372-01 RF18373-01
ITEM No.	—	TYPE EQUIP.	6x10 1/4-5stgHDB
P.ORD.No.	—	SET	3 + 3

NOTE

5				
4				
3	1.4.5	Jul. 14 '86	Ta	
2	1.5	Nov 21 '85	Te	
1	3	Jul. 19 '85	Te	
No.	PAGE	DATE	BY	

REVISION

DISTR	SET	ACT	DISTR	SET	ACT
Customer	1/8				
413	1C				
592	1C				
582	1C				
622	1C				

A--ACTION NECESSARY

B--CONTENTS ESSENTIAL

C--INTERPRETATION ONLY

☒ FOR APPROVAL

AVOID DELAY
TO MAINTAIN SHIPPING
PROMISE.
ONE APPROVED PRINT MUST BE
RETURNED BY: ASAP

BY YTD DATE 25 Jun 85☐ FOR RECORD

ANY REQUESTED CHANGE OF THIS
EQUIPMENT WILL RESULT IN:
1. CONTRACT PRICE ADJUSTMENT.
2. EXTENDED SHIPPING PROMISE
AS THIS CONTRACT IS IN
MANUFACTURING PROCESS.

BY _____ DATE _____

APPROVED
BY

CHECKED BY

PREPARED BY

EBARA CORPORATION

I. SPECIFICATIONS OF ERAPA HIGH PRESSURE, MULTI-STAGE PUMP

1. SERVICE

2. DESIGN SPECIFICATIONS

Liquid handled:	BOILER FEED WATER
Inlet temperature:	176.1 °C
Specific gravity:	0.891
Vapour pressure:	9.34 kg/cm ² A at 176 °C
Viscosity:	
Capacity:	365 t/h
Discharge pressure:	202.5 / 14 kg/cm ² G
Suction pressure:	14 / 10 kg/cm ² G
Total pressure:	188.5 / 4 kg/cm ²
Driver:	2960 kw x 1480 RPM
Number of supply:	3 + 3

3. PUMP MODEL AND PERFORMANCE DATA

	MAIN PUMP / BOOSTER PUMP
Model:	6X10 1/4-5 Stg HDB/200 UCW
Suction connections:	200A / 200A JIS 20 KRF / JIS 20 KRF = Flange
Discharge connections:	200A / 200A BUTT WELD / JIS 20 KRF = Flange
Number of stages:	5 / 1 Stages
Pump speed:	7250 / 1480 RPM
Pump efficiency at rated capacity:	80 / 80 %
Required shaft power:	2627.9 kw
Loss power by gear type speed increaser:	53.6 kw
Loss power by hydraulic coupling:	kw
Required shaft power of booster pump:	55.8 kw (+)
Recommended output of driver:	2737.3 kw x 1.08 = 2960 kw

MAIN Pump / BOOSTER Pump

First stage impeller: Double suction / Single suction

Req. NPSH:
(at Rated Capacity): 32 / 4.4 m

Av. NPSH: Approx. 15 m

Min. flow 110 t/h

Warming flow 1.5 t/h

4. DESIGN DATA

Max. working pressure: 295 / 15 kg/cm²G

Hydraulic test pressure: 442.5 / 22.5 kg/cm²G

GD²: 600 kg-m² (at the shaft end of driver)
INCL BOOSTER

Rotating direction: CW (viewed from driven end)

Suction direction: Top / End

Discharge direction: Top / Top

Casing supported: Center support type ~~Bracket type~~

Balancing of axial thrust: Self-balancing (Impeller arranged in two opposing groups)
~~Balance disk~~

Type of Bearing, Radial: Sleeve metal / Roller bearing

Thrust: Kingsbury, / Ball bearing

Type of Bearing lubricating oil supply: FORCED OIL LUBRICATING SYSTEM / OIL BATH

Lubricant, Brand : Turbine oil # ISO VG46

Quantity : 700 l (per set)

Main oil pump: 186 l/m x 1480 rpm
(Shaft end driven)

AUX. OIL PUMP 150 l/m x 2 kg/cm²g x 1460 rpm x 2.2 Kw

Type of Stuffing Box: MECHANICAL SEAL

FLUSHING LIQUID CONDENSATE WATER

QUANTITY 3 m^3/h

PRESS. 16 $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ G}$

Cooling water required:

For bearing: 1.0 m^3/h

For stuffing box: 3 m^3/h

For oil cooler: 18 m^3/h

For heat-exchanger
of mechanical seal: — m^3/h (+)

Total cooling water
required (per set): 22 m^3/h

Type of Coupling: HIGH SPEED SIDE / LOW SPEED SIDE
DIAPHRAGM GEAR

Lubricant: GREASE
68, capacity 820 $\frac{\text{g}}{\text{2}}$ (per set)

Approximate weight (per set):

Pump: 4500 / 900 kg

Common base: 6000 / 300 kg

Gear type
speed increaser: 2600 kg (+)

Total weight: 14300 kg

主文主:

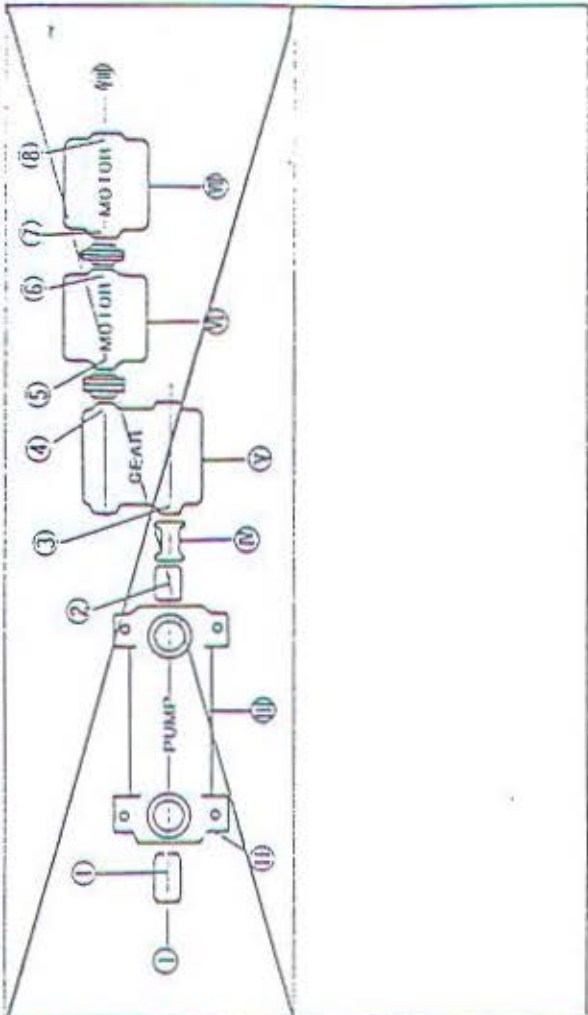
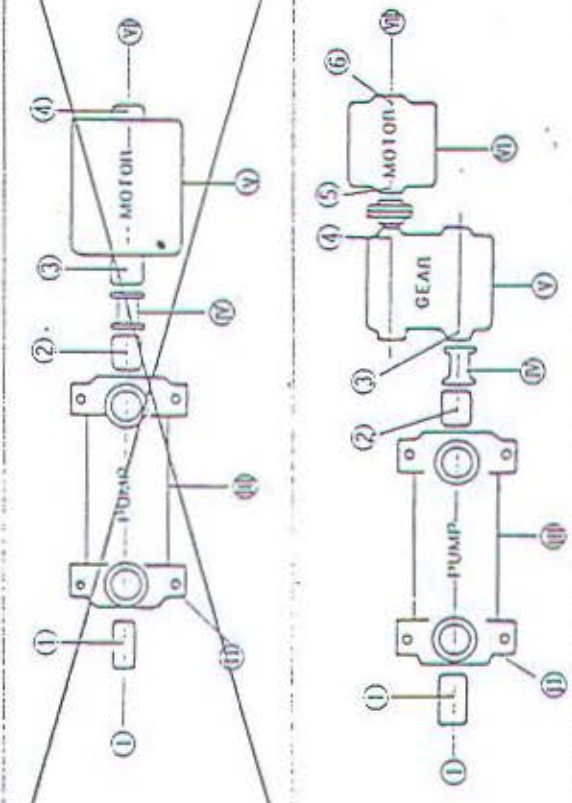
初立者
Approved by
(Customer)

No.

機名
Type

測定時条件
Condition at measuring

rpm X X X



測定値
Measured values of vibration

単位: μm (double amplitude)
Unit: μm (double amplitude)

騒音測定値
Measured values of noise

単位
Unit: dB

位置 Point	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
水平方向 horizontal									
垂直方向 vertical									
方向 Axial									
判定 Result:									

位置 Point	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
A Scale									
背景音 Back ground noise									

測定値
Measured values of vibration

測定距離
Measuring distance

測定器
Instrument

承認
Approved by

花屋製作所
HANAYAMA

PERFORMANCE CURVE

(ESTIMATED)

ITEM NO. BOILER FEED PUMP

FOR MESSRS: IHI/PERUSAHAAN UNUM LISTRIK NEGARA JAKARTA INDONESIA

MFG.NO: RF18372-01
RF18373-01

TYPE: 6x10 1/4 - 5 stg. HDB

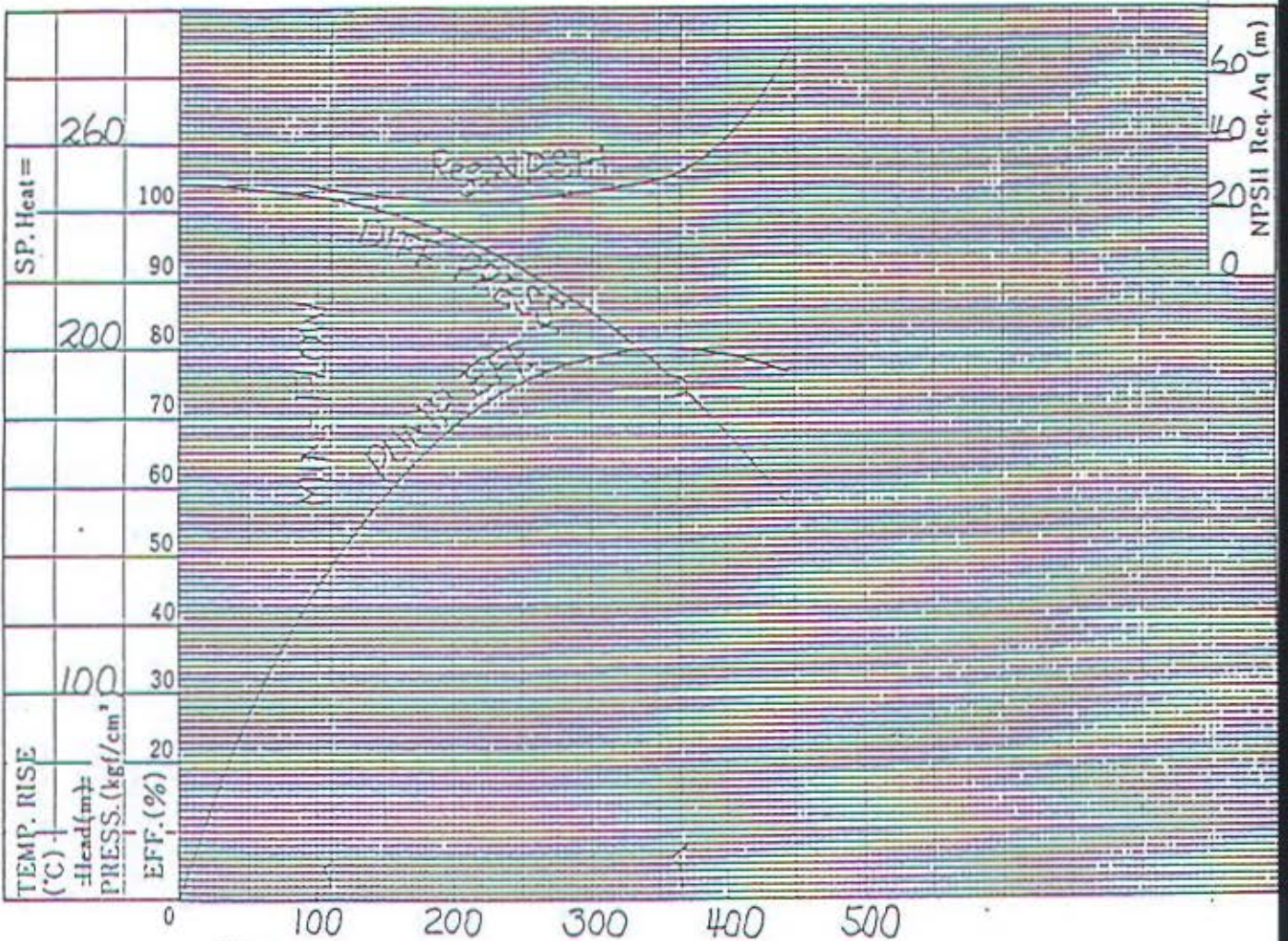
Liquid Handled B.F. Water

S.G. 0.891

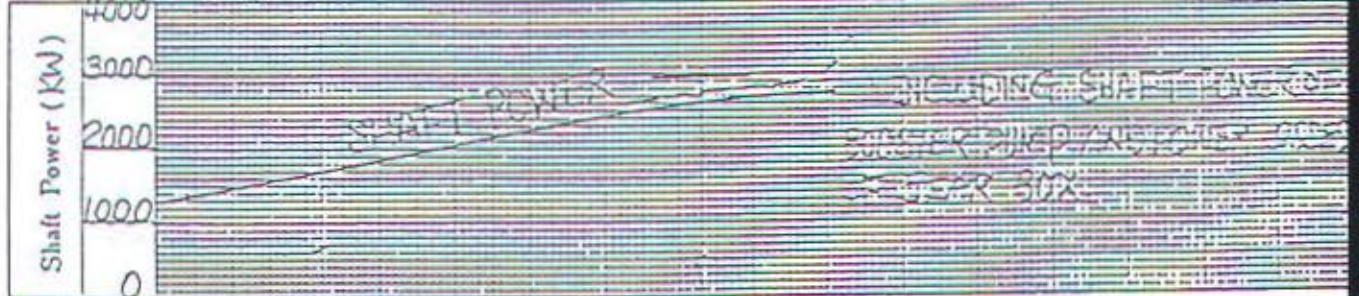
RATING: 365 t/h x 188.5 m³/h x 7250 rpm x 2960 kW

Temp. 176°C

Vis. 2



CAPACITIES (t/h)



Date: Sep. 18 '85

EBARA CORPORATION

[Handwritten signatures and stamps]



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN-ITS
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
KAMPUS ITS KEPUTIH-SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. 5994754, 5994251 s/d 55 PES. 1102 FAX. 5994754

TUGAS AKHIR KS 1701

Nama : SLAMET WIDODO
Nrp. : 4294.100.038
Dosen Pembimbing : Ir. Moch. Orianto, MSc.
Tanggal Tugas Diberikan : 17 Maret 1999
Tanggal Tugas Diselesaikan : 9 Pebruari 2000
Judul Tugas Akhir : Studi Teknis Getaran Sistem Instalasi Feed Water
Pump di PT. PLN PJB2 Gresik-Surabaya

Surabaya, Pebruari 2000

Dosen Pembimbing

Ir. Moch. Orianto, MSc
NIP. 130.786.955

Mahasiswa

Slamet Widodo
NRP. 4294.100.038

Ketua Jurusan

Dr. Ir. A.A. Masroeri, MEng
NIP. 131.407.591

Dibuat rangkap 4 (empat) untuk :

- Arsip Jurusan TSP
- Dosen Pembimbing ybs.
- Mahasiswa ybs.
- Koordinator T.A.-TSP.

LEMBAR KEMAJUAN Pengerjaan Tugas Akhir (KS 1701)

Nama : SLAMET WIDODO
NRP : 4294 100 038
Judul Tugas Akhir : Studi Teknis Getaran Sistem Instalasi Feed Water Pump di PT PLN
PJB II Gresik - Surabaya
Dosen Pembimbing : Ir. Moch. Orianto, MSc.

No.	Tanggal	Kegiatan	Paraf Dosen
1	19 - 03 - 1999	Konsultasi judul Tugas Akhir	R
2	26 - 03 - 1999	Konsultasi data - data yg diperlukan	R
3	09 - 06 - 1999	Asistensi data - data yg telah diperoleh	A
4	26 - 08 - 1999	Asistensi pendahuluan dan dasar teori	R
5	15 - 09 - 1999	Konsultasi analisa data	R
6	10 - 10 - 1999	Konsultasi analisa data	R
7	27 - 11 - 1999	Konsultasi persiapan maju pr	R
8	4 - 01 - 2000	Konsultasi data ? tambahan	R
9	18 - 01 - 2000	Perbaikan dasar teori	R
10	25 - 01 - 2000	perbaikan dasar teori	R
11	31 - 01 - 2000	Analisa dan pembahasan	R
12	3 - 02 - 2000	Analisa dan pembahasan .	R
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			

Catatan :

1. Mahasiswa siap/tidak siap/dibatalkan *) untuk diujikan.
2. Catatan lain yang dianggap perlu :

Surabaya, :

Dosen Pembimbing

Ir. Moch. Orianto, MSc

NIP. 130 . 786 . 955

*) coret yang tidak perlu



LEMBAR EVALUASI PRESENTASI INTERIM (P-2) TUGAS AKHIR

Setelah membaca, menimbang dan mempelajari Presentasi II Tugas Akhir yang dilaksanakan oleh:

Nama / NRP : SLAMET W
Judul Tugas Akhir : Studi Teknis Estarasi Sistem Instalasi Feed
Water Pump di PT PLN IGA II Gresik - Surabaya
Dosen Pembimbing : 1) Orianto
2) _____

Maka Tim Dosen memutuskan mahasiswa tersebut di atas :

1. Langsung mengikuti Presentasi Akhir Istimewa (P-3+) pada tanggal 03/12/1999
2. Melanjutkan penulisan TA dan mengikuti Presentasi Akhir Reguler (P-3) pada tanggal 05/01/2000
3. Melanjutkan penulisan TA dan mengikuti Presentasi Interim (P-2) pada semester berikutnya
4. Membatalkan penulisan Tugas Akhir tersebut.

Hal-hal yang perlu diperbaiki dalam Tugas Akhir tersebut adalah: (bila diperlukan, dapat dilanjutkan pada halaman kosong dibalik)

Surabaya, 29/11/99
Menyetujui Tim Dosen Penilai :

Nama

Orianto

(Ketua Tim)

YUSUF ZUHR

(Anggota)

KIKIK SOEPRAJITNO

(Anggota)

SWY

(Anggota)

AMVADJ

(Anggota)

TAUFIK FADAR

(Anggota)

Wahid

Tanda Tangan Mahasiswa

Tanda Tangan

1. [Signature]

2. [Signature]

3. [Signature]

4. [Signature]

5. [Signature]

6. [Signature]

7. [Signature]

